

KALLION TUNNISTAMINEN JA LUOKITUS
SFS-EN ISO 14689 -STANDARDIN
MUKAISESTI

Pro gradu -tutkielma

Helsingin yliopisto

Geotieteiden ja maantieteen laitos

Geologia

Tea Niiranen

Elokuu 2015



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution – Department Geotieteiden ja maantieteenlaitos
Tekijä/Författare – Author Tea Niiranen		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Kallion tunnistaminen ja luokitus SFS-EN ISO 14689 -standardin mukaisesti		
Oppiaine /Läroämne – Subject Geologia		
Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma	Aika/Datum – Month and year Elokuu 2015	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 77
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Kallion luokituksen tarkoituksena on mm. tunnistaa kallion käyttäytymiseen vaikuttavat merkittävät ominaisuudet ja jaotella kalliomassa samalla tavalla käyttäytyviin osioihin. Suomessa yleisessä käytössä on maamme kallioperään kehitetty rakennusgeologinen kallioluokitus eli RG-luokitus, joka kuvailee kalliota objektiivisesti. Toinen Suomessa ja maailmalla yleisesti käytössä oleva on Q-luokitus, jossa kalliolaadulle määritetään numeerinen lukuarvo.</p> <p>ISO (the International Organization for Standardization) on kansainvälinen standardisointijärjestö, joka on julkaissut kallion tunnistamis- ja luokitusstandardin ISO 14689-1 maa- ja vesirakentamista varten. Suomen standardisointiliitto SFS ry on hyväksynyt tämän kansalliseksi standardiksi SFS-EN ISO 14689-1. Standardin mukaisesti tehdystä kallion tunnistamisesta ja luokituksesta käytetään tässä opinnäytteessä nimitystä ISO-luokitus. Tutkielman tarkoituksena on vertailla ISO-luokitusta Suomessa käytössä oleviin kallionluokitusmenetelmiin, erityisesti yleisesti käytettyihin RG- ja Q-luokituksiin. Tutkimuskohteena on Tampereen Rantatunneli, jossa käytetään systemaattisesti sekä Q- että RG-luokitusmenetelmiä.</p> <p>ISO-luokitus jaetaan kolmeen osaan: kallion tunnistamiseen, kalliomateriaalin kuvaukseen ja kalliomassan kuvaukseen. Luokituksen testaamisen avuksi on kehitetty kartoituslomake, joka ottaa edellä esitetyt parametrit huomioon. ISO-luokitusparametrien lisäksi lomakkeelle otettiin mukaan myös Q-parametrit, koska ISO-luokituksen yhteydessä haluttiin samalla testata mahdollisuutta hyödyntää ISO-parametreja Q-lukuparametrien määrittämisessä.</p> <p>ISO-luokituksen mukaiset kartoitukset suoritettiin Tampereen Rantatunnelin viidessä eri tunnelikatossa. Kartoitusalueet A, B, C, D ja E sijoittuvat Näsinkallion ja Naistenlahden alueille. Kussakin viidessä tunnelikatossa esiintyi yleensä kolme pääarakosuuntaa, joista yksi kulki liuskeisuuden suuntaisesti. Pääkivilaji jokaisessa tunnelikatossa oli kiillegneissi, joka luokiteltiin hyvin lujaksi (100-250 MPa).</p> <p>Sekä RG- että ISO-luokitus ovat molemmat kalliota kuvailevia menetelmiä, joilla ei saada numeerisesti täsmällisesti ilmaistavaa tulosta kallion laadusta. ISO-luokituksella saadaan kuitenkin tarkempi kuva kalliolaadusta kuin RG-luokituksella. ISO-luokituksen hyödyntäminen Suomen kallioperän olosuhteissa vaatisi, että tiettyjä mittaussparametreja joko osittain tai kokonaan muutetaan tai luokkia yhdistetään keskenään. ISO-luokituksen parametreista on myös mahdollista johtaa Q-luokituksessa käytettäviä parametreja.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords kallioluokitus, ISO-luokitus, Tampereen Rantatunneli, RG- ja Q-luokitus		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kumpulan kampuskirjasto		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information 13 kuvaa, 6 taulukkoa, 4 liitettä		



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Science		Laitos/Institution– Department Department of Geosciences and Geography
Tekijä/Författare – Author Tea Niiranen		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Identification and classification of rock according SFS-EN ISO 14689 standard		
Oppiaine /Läroämne – Subject Geology		
Työn laji/Arbetets art – Level MSc thesis	Aika/Datum – Month and year August 2015	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 77
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>The purpose of rock mass classification is to get to know the major features affecting the rock and to divide the rock mass in to parts that behave the same way. RG-classification is a Finnish qualitative rock mass classification that describes the rock mass objectively. Another commonly used classification is Q-system, which gives numerical values for the classified rock.</p> <p>ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standard bodies, which has published a standard ISO 14689-1 for identification and classification of rock for ground- and water construction. The Finnish Standards Association SFS has approved the aforesaid for international standard SFS-EN ISO 14689-1. In this thesis I use the name ISO-classification for identification and classification of rock according to this standard. The purpose of the study is to compare the ISO-classification system to the rock classification systems used in Finland, especially to the commonly used RG- and Q-classifications. The main focus of this study is the Tampere Rantatunneli where Q- and RG-classification systems are systematically used.</p> <p>The ISO-classification is divided in to three parts: the identification of the rock and the descriptions of rock material and rock mass. To help the testing of classification a mapping form has been developed to take the parameters above into account. Q-parameters have also been considered in the form and the possibility of exploiting the ISO-parameters in defining the Q-system was also tested.</p> <p>The mapping according to the ISO-classification was performed in five different tunnel breaks in Tampere Rantatunneli. These mapping areas A, B, C, D and E are located in Näsinkallio and Naistenlahti areas. Three main joint directions were found in each five tunnel breaks with one of them parallel to schistosity. The main rock type in each tunnel break was micagneiss classified as very hard (100-250 MPa).</p> <p>RG- and ISO-classifications are both descriptive methods that describe the rock and do not provide a quantitative result of the rock quality. However, the ISO-classification is more precise than the RG-classification. Using the ISO-classification in Finland requires that some of the measuring parameters are either partly or totally modified or that categories are combined together. It is possible to derive parameters from ISO-classification to be used as Q-classification parameters.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords rock mass classification, ISO-classification, Tampere Rantatunneli, RG- and Q-classifications		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kumpula campus library		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information 13 figures, 6 tables, 4 appendixes		

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	4
2. KALLIORAKENTAMISESSA KÄYTETYIMMÄT KALLIOLUOKITUKSET SUOMESSA.....	5
2.1 Rakennusgeologinen kallioluokitus (RG-luokitus).....	6
2.1.1 Kivilaatu.....	6
2.1.2 Kallion rakoilu	7
2.1.3 Kalliolaatu	8
2.2 RQD-luokitus (Rock Quality Designation)	8
2.3 Q-luokitus (Rock Mass Quality system).....	10
3. ISO-LUOKITUS.....	12
3.1 ISO-luokituksen kehityshistoria	12
3.2 ISO-luokituksen parametrit	13
3.2.1 Kallion tunnistaminen	13
3.2.2 Kalliomateriaalin kuvaus	14
3.2.3 Kalliomassan kuvaus.....	16
4. TAMPEREEN RANTATUNNELI JA SEN GEOLOGIA	18
4.1 Rantatunneli	18
4.2 Alueellinen geologia.....	19
4.3 Rantatunnelin kallioluokitus.....	21
4.3.1 RG- ja Q-luokitusten suoritus	21
4.3.2 RG- ja Q-luokitusten tulokset	26
5. ISO-LUOKITUKSEN MUKAINEN KARTOITUS	26
5.1 ISO-luokituksen mukainen kartoitus	26
5.2 Q-parametrien johtaminen ISO-luokituksen mukaisista kartoitustuloksista	29
6. KARTOITUSTULOKSET	30
6.1 ISO-luokituksen mukaiset kartoitustulokset	30
6.1.1 Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue A.....	31
6.1.2 Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue B	33
6.1.3 Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue C	35
6.1.4 Näsinkallion kuilu, kartoitusalue D.....	37
6.1.5 Naistenlahden pohjoinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue E	39
6.2 Q-luokituksen mukaiset kartoitustulokset.....	40
7. KARTOITUSTULOSTEN TARKASTELU.....	42
7.1 ISO-luokituksen vertailu RG-luokitukseen	42

7.1.1 Kivilaatu.....	42
7.1.2 Epäjatkuvuudet.....	44
7.2 ISO-luokituksesta johdettujen Q-lukujen vertailu tunnelin rutiinikartoituksen yhteydessä suoritettuun Q-luokitukseen	47
7.3 ISO-luokituksen soveltuvuus Rantatunneliin	50
8. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	51
9. KIITOKSET	53
10. LÄHDELUETTELO	54

LIITE 1. SFS-EN ISO 14689-1 standardissa käytetyt taulukot.

LIITE 2. Taulukko 2. Apuväline rakennusteknisiin tarkoituksiin käytettävien kivilajien tunnistamiseksi (SFS-EN ISO 14689–1).

LIITE 3. RG- ja Q-luokituksen mukaiset kartoitustulokset kartoitusalueilta A, B, C, D ja E.

LIITE 4. ISO- ja Q-luokituksen mukaiset kartoitustulokset kartoitusalueilta A, B, C, D ja E.

1. JOHDANTO

Kallion laatuluokitusten tarkoituksena on luokitella kallion laatua muun muassa kalliomassan rakenteelliseen lujuuteen vaikuttavien ominaisuuksien suhteen. Esimerkiksi rakoilulla ja rakojen mekaanisilla ominaisuuksilla, kuten rakoprofiililla on suuri vaikutus kallion rakenteelliseen lujuuteen. Kallio koostuu ehjästä kivimateriaalista ja sitä leikkaavista raoista, rikkonaisuusvyöhykkeistä ja mahdollisista rapautumista. Kalliossa vaikuttaa painovoimasta ja tektonisista voimista aiheutuva jännityskenttä ja kallion raoissa vaikuttava pohjavesipaine, jotka myös voidaan ottaa huomioon joissain kallioluokituksissa. Kalliolaatua luokitellaan muun muassa siksi, että pystyttäisiin mahdollisimman hyvin ottamaan huomioon kallion ominaisuudet suunnittelussa ja rakentamisessa. Näin myös rakennuskustannuksia voidaan optimoida, työ nopeutuu ja saadaan suunniteltua mahdollinen kalliotilojen lujitustarve eli esimerkiksi kallion ruiskubetonoinnin ja pultituksen määrä.

Ensimmäisen kallioluokituksen (Terzaghin kallioluokitus) laati insinööri Terzaghi vuonna 1946 teräskaarin tapahtuvaa kallion lujitusta varten (Bieniawski 1989, Terzaghin 1946 mukaan). Sen jälkeen on kehitetty useita kansainvälisesti tunnettuja luokituksia. Kallioluokitukset ovat kasvavassa asemassa Suomessa, koska uusia tiloja, kuten tietunneleita ja parkkihalleja sekä kaivoksia rakennetaan yhä enemmän kallioon. Käytettävä kallioluokitus riippuu luokittajan kokemuksesta ja siitä, minkälaisesta kalliorakentamisesta on kyse. Tunnelirakentamisessa ja kaivoslouhinnassa käytetään yleensä erilaisia kallion laatuluokituksia. Esimerkiksi kalliorakentamiseen kehitetystä RMR-luokituksesta (Rock Mass Rating) on modifioitu MRMR-luokitus, joka soveltuu erityisesti kaivosolosuhteisiin (Hoek et al. 1995). Kaivoksissa vaikuttavat yleensä suuremmat jännityskentät, koska ne sijaitsevat yleensä syvemmillä kalliossa kuin kalliorakennuskohteet, mikä pitää ottaa huomioon kallioluokituksessa (Wegelius ja Viitala 1996). On kuitenkin suositeltavaa, että vähintään kahta kallioluokitusta käytettäisiin yhdessä, jotta tulos olisi mahdollisimman luotettava (Hoek et al. 1995).

ISO (the International Organization for Standardization) on kansainvälinen standardisointijärjestö, joka on julkaissut kallion tunnistamis- ja luokitusstandardin EN ISO 14689-1:2003 maa- ja vesirakentamista varten. CEN (European Committee for

Standardization) on hyväksynyt sen muutoksitta eurooppalaiseksi standardiksi. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on hyväksynyt viimeksi mainitun kansalliseksi standardiksi SFS-EN ISO 14689-1. Tämän standardin mukaisesti tehdystä kallion tunnistamisesta, luokituksesta ja kuvauksesta käytetään tässä opinnäytteessä nimitystä ISO-luokitus. Tutkielman tarkoituksena on vertailla ISO-luokitusta Suomessa käytössä oleviin kallionluokitusmenetelmiin, erityisesti yleisesti käytettyihin RG- ja Q-luokituksiin. Tutkimuskohteena on Tampereen kaupungin alle rakennettava n. 2,3 km pitkä tietunneli, Tampereen Rantatunneli. Tunnelin kartoituksessa käytetään systemaattisesti sekä Q- että RG- luokitusmenetelmiä. Työn tavoitteena on testata ja arvioida ISO-luokituksen soveltuvuutta Rantatunnelin olosuhteisiin. ISO-luokituksen suorittamisen avuksi suunniteltiin kartoituslomake, joka ottaa huomioon ISO-luokituksen mukaiset parametrit.

Tulosten tarkastelussa pyrittiin listaamaan mahdollisimman yksityiskohtaisesti kartoituksen aikana esiintyneitä käytännön ongelmia luokituksen suorituksessa. Lisäksi tutkielmassa pyritään arvioimaan ISO-luokituksen mukaisen kartoituksen soveltuvuutta Suomen kallioperään yleisesti sekä sen mahdollisia kehitystarpeita.

2. KALLIORAKENTAMISESSA KÄYTETYIMMÄT KALLIOLUOKITUKSET SUOMESSA

Kallioluokitusmenetelmät vaihtelevat yleisesti kuvailevista menetelmistä yksityiskohtaisempiin menetelmiin. Syrjäsen (1993) mukaan kalliota yleisesti kuvailevia menetelmiä ovat mm. ISRM ja Rakennusgeologinen kallioluokitus eli RG-luokitus. Tiettyyn käyttötarkoitukseen kehitettyjä menetelmiä ovat mm. RQD-, RMR- ja Q-luokitukset, joita käytetään etenkin tunnelirakentamisessa hyödyksi. RMR-luokituksesta ja Q-luokituksesta on tehty useita muunnoksia, joita voidaan hyödyntää mm. rakoilutulkinnoissa, kaivoksissa, perustuksien ja louhittavuuden määrittämisessä (Syrjänen 1993). Tässä kappaleessa keskitytään kuvailemaan RG-, RQD- ja Q-luokituksia, jotka ovat Suomessa käytetyimmät kallioluokitusmenetelmät kalliorakentamisessa.

2.1 Rakennusgeologinen kallioluokitus (RG-luokitus)

Rakennusgeologinen kallioluokitus eli RG-luokitus on kehitetty vuosina 1971–1974 Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) valtiovarainministeriön järjestelyosaston toimeksiannosta. Luokitus suoritetaan objektiivisesta näkökulmasta ja se on suunniteltu nimenomaan Suomen kallioperäolosuhteisiin (Gardemeister et al. 1976). Luokituksessa kuvaillaan kalliorakennuskohteen kivilaatu ja rakoilu, joiden perusteella saadaan määritettyä kalliolaatu. Havainnot voidaan tehdä esimerkiksi kalliotiloista, kalliojaljastumista tai kairasydännäytteistä. Tuloksia voidaan halutessa tarkentaa esimerkiksi laboratoriotutkimuksin. RG-luokitus voidaan rajata haluttuun tarkkuuteen, jolloin kuvaillaan vain niitä yksityiskohtia, joilla on rakennusteknisessä mielessä merkitystä (Riekkola et al. 1987).

2.1.1 Kivilaatu

Rakennusgeologinen kallioluokitus ottaa huomioon kivilaadun ja rakoilun, joiden avulla määritetään kalliolaatu. Kivilaadun määrittäminen pitää sisällään rapautuneisuuden, osasten järjestyneisyyden ja raekoon määrittämisen sekä mineraalien tunnistamisen. Rakoilulla tarkoitetaan kaikkien rakojen muodostamaa yhtenäistä järjestelmää, jossa tulee määrittää rakoilutyyppi, rakotiheys ja rakojen laatu (Korhonen et al. 1974). Kivilaatu tulee määrittää noin metrin pituudelta kairasydännäytteestä tai vähintään yhden neliön alalta kallion pinnasta (Riekkola et al. 1987).

Rapautuneisuudella tarkoitetaan kivilaadun rakenteen löyhtymistä ja/tai mineraalien muuttumista (Riekkola et al. 1987). Rapautumisastetta kuvaillaan tunnusten avulla (Rp 0... Rp 3), jossa Rp0 edustaa rapautumatonta kivilaatua ja Rp3 taas täysin rapautunutta kivilaatua (Korhonen et al. 1974).

Korhonen et al. (1974) mukaan osasten järjestyneisyys kuvaa kiven laatua ja niiden suuntautuneisuutta. Mineraalien osaset voivat esiintyä joko yksittäin tai ryhmissä eri tavoin suuntautuneina. Osasten järjestyneisyys on joko massamaista (M), liuskeista (L) tai/ja seoksista (S), joihin voidaan lisätä numerotunnus (1-3) rakotiheyden perusteella. Esimerkiksi massarakenteinen kiinteä kallio, jossa on harvakseltaan rakoja saa

tunnukseksi M1, kiinteä kallio, jossa on vähän rakoja saa, tunnukseksi M2, ja runsasrakoinen kallio kuuluu luokkaan M3 (Korhonen et al. 1974). Riekkolan et al. (1987) mukaan kiven laadun ja suuntautuneisuuden kuvaaminen ovat yleensä tärkeimpiä kivilaadun arviointiperusteita.

Mineraalien vallitseva raekoko määritetään joko silmämääräisesti tai käyttämällä apuna mittatyökaluja. Jos päämineraalina on esimerkiksi suomuinen mineraali, raekoko on suomujen keskimääräinen leveys ja jos päämineraalina on kuituinen mineraali, ei raekokoa määritetä ollenkaan. Kivilaatua kuvaillaan sanalla porfyyrinen, jos kivilaadussa esiintyy selvästi kiven perusmassaa suurempia mineraalihajarakeita (Korhonen et al. 1974).

Riekkolan et al. (1987) mukaan päämineraalien määrittäminen on kivilaadun luokituksessa yksi vaikeimpia tehtäviä. Päämineraaleiksi eli vallitseviksi mineraaleiksi kutsutaan niitä mineraaleja, joita esiintyy kivessä vähintään 10 tilavuusprosenttia. Kivilaadusta pyritään tunnistamaan 2-3 päämineraalia joko silmämääräisesti tai käyttämällä yksinkertaisia apuvälineitä. Lisäksi voidaan määrittää muita mineraaleja, jos se katsotaan aiheelliseksi. Mineraalikoostumuksen perusteella, kivilaatua kutsutaan pehmeäksi (p), hauraaksi (h), sitkeäksi (s) tai kovaksi (k), jolloin ei oteta huomioon mineraalien sidosten välistä lujuutta (Korhonen et al. 1974).

2.1.2 Kallion rakoilu

Korhosen et al. (1974) mukaan rakoilulla tarkoitetaan kaikkien rakojen ja murtumien muodostamaa järjestelmää, josta tunnistetaan rakoilutyyppi, rakotiheys ja rakojen laatu. Rakojen geometrinen esiintyminen määrittää rakoilutyyppin, joka voi olla kuutio-, laatta-, kiila- ja/tai sekarakoilu.

Rakojen keskinäistä etäisyyttä kuvataan rakotiheyden avulla. Se voidaan määrittää kairanäytteestä tai kallionpinnasta, ja se ilmaistaan mahdollisuuksien mukaan kaikissa vallitsevissa rakosuunnissa. Kalliopinnasta rakotiheys ilmoitetaan keskimääräisenä rakovälinä, joka tulee mitata kohtisuorassa suunnassa vallitseviin rakosuuntiin nähden (Korhonen et al. 1974). Louhintaräjäytyksen jälkeen kalliopinnassa nähtävät raot eivät kaikki välttämättä edusta luonnonmukaisia rakoja. On tärkeää erottaa luonnonmukaiset

raot louhinnan aiheuttamista raoista. Louhinnan aiheuttamilla raoilla ei ole kovin suurta vaikutusta kallioteknisiin ominaisuuksiin, sillä ne rajoittuvat yleensä lähelle louhittua kalliopintaa (TkL Kari Äikäs, Saanio & Riekkola, henkilökohtainen tiedonanto 2015).

Korhosen et al. (1974) mukaan rakojen laatu kuvataan termeillä tiivis, avoin ja täytteinen. Tiiviissä raoissa rakopinnat ovat kiinni toisissaan, mikä estää veden virtauksen kokonaan tai osittain. Avoimissa raoissa rakopinnat ovat irti toisistaan, eikä niissä esiinny täyttemateriaaleja, kuten savea. Avoimia rakoja esiintyy etenkin kallion ylemmissä osissa, missä veden liike on myös runsaampaa. Rakopinnoilla voi esiintyä mineraalien muuttumistuloksia, kuten kloriittia ja/tai ruostetta. Täytteisissä raoissa voi esiintyä joko pehmeää tai kovaa mineraaliainesta, joiden laatu ja määrä vaikuttavat veden virtaukseen (Korhonen et al. 1974). Täytteisiä rakoja voidaan nimittää joko haarniskaraoiksi, saviraoiksi tai mururaoiksi, riippuen rakojen laadusta ja täyttemateriaaleista (Riekkola et al. 1987).

2.1.3 Kalliolaatu

Kalliolaadun kuvaus pitää sisällään rakenteellisen kiinteyden (kiinteä, löyhä, rikkonainen), rakennetyypin (esim. massarakenteinen) ja tiheimmän rakoilun määrittämisen. Lisäksi kallioista määritetään rakoilun tiheys (esim. runsasrakoinen) sekä kivilaatujen kovuus/sitkeys (esim. hauras) (Korhonen et al. 1974).

RG-luokitusta voidaan käyttää laajaan kalliolaadun kuvaukseen tai siitä voidaan hyödyntää vain haluttuja parametreja, esimerkiksi voidaan keskittyä kuvaamaan vain kiviaineksen rapautuneisuutta. Vaikka luokitus ei anna tarkkoja numeerisia arvoja, se antaa kuitenkin louhintakohteesta riittävän tarkkuuden, jonka pohjalta voidaan tehdä louhinta- ja rakennesuunnittelu (Riekkola et al. 1987).

2.2 RQD-luokitus (Rock Quality Designation)

RQD-luokitus esitettiin ensimmäistä kertaa Deeren (1964) toimesta, jolloin kivilajien laatuluokitus pohjautui pääosin vain geologien kuvaamiin raportteihin sekä

kairasydännäyhteisiin. Alun perin luokitus kehitettiin arvioimaan tunnelin rakenteita sekä tunnelin rakenteellista tukemista. 1970-luvulle tultaessa luokitusta sovellettiin arvioitaessa kiven *in situ*-tyyppisiä eli niin sanottuja ”luonnontilaisia” mekaanisia rakenteita (Deere ja Deere 1988).

RQD-luokitus suoritetaan laskemalla yli 10 cm pitkien ehjien kallionäytteiden osuus koko kairasydämen pituudesta. Kairasydäimestä tehtävästä RQD-luvun määrittämisessä vain luonnonraot otetaan huomioon. Tulos annetaan prosentteina: mitä pienempi prosentuaalinen tulos sitä huonolaatuisempaa kivi on ja päinvastoin (Deere ja Deere 1988). RQD riippuu rakoilun ja kairareian välisestä kulmasta, joten se on anisotrooppinen kairareistä määritettäessä (Hoek et al. 1995). Alla on esitetty laskukaava RQD:n laskemiseen (Deere ja Deere 1988):

$$RQD = \frac{\sum_{>10 \text{ cm}} \text{pitkien kairasydännäytteiden pituus}}{\text{kairasydännäytteen pituus}} \times 100 \% \quad (1)$$

Jos RQD-luku halutaan määrittää suoraan kallion pinnasta, tarvitaan tieto rakomääristä kuutiometriä kohden eli J_v -arvo. Palmström (2005) on esittänyt laskukaavan, jonka avulla saadaan määritettyä RQD-luku:

$$RQD = 115 - 3,3J_v \quad (2)$$

(Jos $J_v > 35$, niin $RQD = 0$, $J_v < 4,5$, niin $RQD = 100 \%$)

Taulukossa 1 on esitetty, miten rakojen lukumäärä per kuutiometriä kohden (J_v) vaikuttaa RQD-luvun suuruuteen: mitä suurempi J_v -arvo sitä pienempi RQD-luku on ja päinvastoin (Wegelius ja Viitala 1996). RQD-luku on luonut pohjan monelle muulle kallionluokitus järjestelmälle, kuten esimerkiksi Q- ja RMR- luokituksille (Hoek et al. 1995).

Taulukko 1. RQD-luvun määrittäminen rakomäärien perusteella. Mukailen Wegelius ja Viitala (1996).

RQD-luku (%)	Rakojen lukumäärä (<i>in-situ</i> kallionpinnasta)/ Rakojen lukumäärä J_v / (m ³)
(5)	(33)
10	32
15	30
20	29
25	27
30	26
35	24
40	23
45	21
50	20
55	18
60	17
65	15
70	14
75	12
80	11
85	9
90	8
95	6
100	5

2.3 Q-luokitus (Rock Mass Quality system)

Q-luokitus on kehitetty Norjan geoteknisessä instituutissa (NGI) Bartonin, Lien ja Lunden toimesta ja se julkaistiin vuonna 1974. Q-luokitus antaa kalliomassalle numeerisen arvon, jonka perusteella arvioidaan tunnelin tukemisen tarvittavuus (Barton et al. 1974). Q-luvun numeeriset arvot vaihtelevat välillä 0,001-1000; tässä pienet arvot edustavat huonolaatuista ja suuret arvot taas hyvälaatuista kalliota. Taulukossa 2 on esitetty kallion laatuluokat Q-luokituksessa. Q-luku on logaritminen (Hoek et al. 1995). Q-luku ei kuitenkaan kuvaa jokaista kalliomassan kalliolohkoa ja sen stabiiliteettia, vaan epästabiileja kalliolohkoja voi esiintyä vaikka Q-luku olisi suuri (Løset 1997).

Taulukko 2. Kallion laatuluokat Q-luokituksessa. Mukaillen Barton et al. (1974).

Kallion laatuluokka	Q-luku
Poikkeuksellisen heikko (exceptionally poor)	0,001-0,01
Erittäin heikko (extremely poor)	0,01-0,1
Varsin heikko (very poor)	0,1-1
Heikko (poor)	1-4
Kohtalainen (fair)	4-10
Hyvä (good)	10-40
Varsin hyvä (very good)	40-100
Erittäin hyvä (extremely good)	100-400
Poikkeuksellisen hyvä (exceptionally good)	400-1000

Q-luokituksessa käytetään kuutta parametria: RQD-luku (rakoilun tiheyttä kuvaava luku), rakosuuntien lukumäärätekijä (J_n), rakopintojen karkeusluku (J_r), rakopintojen muuttuneisuustekijä (J_a), rakojen vedenläpäisevyysluku (J_w) sekä SRF-luku (jännitystilaluku). Osa parametreista voidaan määrittää suoraan kallion pinnasta kartoittamalla tai kairanäytteestä. Q-luku lasketaan kaavalla (Barton et al. 1974):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}, \quad (3)$$

jossa RQD/J_n -suhde kuvaa kalliolohkon lohkaraisuutta, J_r/J_a -suhde kuvaa kallion kitkaominaisuuksia ja se korreloi raon leikkauslujuuden kanssa. J_w/SRF -suhde kuvaa taas kallion aktiivista jännitystä (Barton et al. 1974), jolla kuvataan kiveen kohdistuvaa kokonaisjännitystä, joka aiheutuu muun muassa kallioon kohdistuvasta ja veden virtauksen aiheuttamasta kuormituksesta (Hoek et al. 1995).

Q-systeemiä suositellaan käytettäväksi silloin, kun kallioista ja sen jännitystilasta on hyvin vähän yksityiskohtaista tietoa. Q-luokitus soveltuu hyvin tunnelisuunnittelun pohjaksi erityisesti silloin, kun kalliossa esiintyy runsaasti rakoilua, jolloin se on epävakaa (Palmström 2006). Luokitusta voidaan hyödyntää myös kenttäkartoituksissa sekä kairasydännäytteiden raportoinnissa. Tulokset saattavat kuitenkin olla tulkinnan varaisia, koska parametreja voi olla vaikea arvioida pelkkien kairasydännäytteiden perusteella (Løset 1997).

Modifioitua Q-lukua eli Q'-lukua käytetään kairasydännäytteiden raportoinnissa, koska kairasydännäytteiden perusteella ei voida tehdä varmoja tulkintoja vedenläpäisevyys- ja jännitystilaluvusta. Q'-luvulla arvioidaan rakoilun vaikutusta kalliomassan lujuuteen. Q'-lukua määritettäessä J_w ja SRF lukujen arvoksi annetaan 1, jolloin aktiivista stressitekijää

ei oteta huomioon. Kaavan kolme ohessa esitettyjen parametrien selitykset pätevät myös kaavassa neljä. Q'-luku lasketaan rakoilua kuvaavista parametreista seuraavalla kaavalla (Barton et al. 1974):

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \quad (4)$$

3. ISO-LUOKITUS

3.1 ISO-luokituksen kehityshistoria

Eurooppalainen standardi SFS-EN ISO 14689–1 käsittelee kalliomateriaalin ja kalliomassan tunnistamista ja kuvausta mineralogiseen koostumukseen, syntyyn liittyviin näkökantoihin, rakenteeseen, raekokoon, epäjatkuvuuksiin ja muihin parametreihin perustuen. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on hyväksynyt sen kansalliseksi standardiksi SFS-EN ISO 14689-1 (Geotekninen tutkimus ja koestus. Kallion tunnistaminen ja luokitus. OSA 1: tunnistaminen ja kuvaus). Tutkielma perustuu tämän standardin soveltamiseen. Standardin soveltamisalan ulkopuolelle kuuluvat kallioluokitusmenetelmät, jotka käyttävät yhtä tai useampaa kuvaavaa parametria esittämään kalliomassan käyttäytymistä (SFS-EN ISO 14689–1).

ISO (the International Organization for Standardization) on kansainvälinen standardisoimisjärjestö, jossa Suomea edustaa Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. ISO:n laatimat standardit ovat suosituksia, jotka tukevat eri maiden yhtenäistä linjaa esim. kallion luokituksessa (SFS-EN ISO 14689-1). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on kehittänyt osalle kyseisistä parametreista taulukoita ja termejä, joihin kuvailu perustuu. Tarkoituksena on, että näin kuvailu ja luokitus pysyvät mahdollisimman yhdenmukaisina eri henkilöiden suorittamien kartoitusten välillä. Tässä tutkielmassa esitetyt taulukot ja lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n luvalla.

ISO 14689-1 standardi on osana Eurokoodia 7 (EN 1997-1): Geotekninen suunnittelu, joka kehitettiin vuonna 1997 (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, lyh. SFS 2014). ISO 14689-1 standardin on laatinut Tekninen Komitea ISO/TC 182, Geotekniikka, alakomitea

SC 1, Geotekninen tutkimus ja testaus. Suomenkielisen soveltamisohjeen on laatinut Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen (SGY) Eurokooditoimikunta. SGY on esittänyt joitakin käännöskorjauksia kyseiseen standardiin, jotka on otettu huomioon tätä tutkielmaa tehdessä (Suomen Geoteknillinen Yhdistys, lyh. SGY 2013). Standardi koostuu kahdesta osasta, josta ensimmäinen osa käsittelee kivimassan tunnistamista ja kuvausta ja toinen osa aineiston digitaalista käsittelyä kiven tunnistamisessa ja kuvauksessa. Kyseinen standardi soveltuu kairasydänten ja muiden kivinäytteiden raportointiin sekä kivimassojen luokitukseen (SFS-EN ISO 14689-1).

3.2 ISO-luokituksen parametrit

3.2.1 Kallion tunnistaminen

SFS-EN ISO 14689-1 standardin mukainen kallionluokitus suoritetaan kolmen vaiheen kautta, joista ensimmäinen on kallion tunnistaminen. Kallion tunnistamisella tarkoitetaan kivilajin määrittämistä. Käytössä on ohessa esitetty Taulukko 3, joka auttaa luokittelemaan kivilajin sen oikeaan kivilajiryhmään ja antaa suuntaa sille, miten kalliomassa mahdollisesti käyttäytyy esim. jännityksen alaisena. Kallion tunnistaminen suoritetaan petrologisen ja mineralogisen tiedon pohjalta. Kallion tunnistamisessa kivilajille määritetään sen geneettinen ryhmä (sedimenttikivi, metamorfinen kivi tai magmakivi), rakenne (esim. kerrostunut), raekoko, mineraalikoostumus ja huokoisuus (SFS-EN ISO 14689-1).

Käytettäessä Taulukkoa 3 on ensiksi tunnistettava, onko kyseessä magma-, sedimentti- vai metamorfinen kivilaji. Kun kivilaji on sijoitettu yhteen kolmesta pääluokasta, vallitseva raekoko ja mineraalikoostumus auttavat määrittämään sen nimen. Määritetty kivilajinimi ei välttämättä ole geologisesti aivan oikea, mutta se auttaa sijoittamaan kivilajin kivilajiryhmään (esim. liuskeketet) (SFS-EN ISO 14689-1), jotka reagoivat kuormitukseen yleensä samalla tavalla.

Kivilajin koostumus, huokoisuus ja tiiviys vaikuttavat sen puristuslujuuteen (Price 1963). Esimerkiksi hyvin huokoiset kivet (kuten jotkin basaltit) saattavat olla rakenteellisesti heikkoja, koska huokoisuus lisää kiven kykyä absorboida vettä, joka vähentää näin kiven

lujuutta (Ozbek et al. 2013). Liuskeiset kivet, jotka ovat hyvin huokoisia ja rapautuneita, ovat rakenteeltaan heikkoja. Epäjatkuvuudet, kuten tiheä rakoilu, hiertovyöhykkeet ja siirrokset, sekä korkea savipitoisuus heikentävät kiveä huomattavasti (Klein 2001). Sen sijaan hyvin tiiviit syväkivet (kuten graniitit) ovat rakenteellisesti lujia, koska ne ovat syntyneet suuressa paineessa ja lämpötilassa ja ne koostuvat pääosin kvartsista (SiO_2) ja muista felsisistä silikaateista, joilla on suuri kovuus (Ozbek et al. 2013).

Taulukko 3. Apuväline rakennusteknisiin tarkoituksiin käytettävien kivilajien tunnistamiseksi. Täysikokoinen taulukko Liitteessä 2 (SFS-EN ISO 14689–1).

SYNTYTÄVÄN MUKAINEN RYHMÄ		MAGMAKIVILAJIT				SEDIMENTTIVILAJIT				KEMIAALISET/ ORGAANISET		METAMORFISET		SYNTYTÄVÄN MUKAINEN RYHMÄ	
Rakenne		MASSAMAISET				KERROSTUNEET				LIUSKEINEN		MASSAMAINEN		Tavallinen rakenne	
Koostumus		Vähintään 50 % rakeista ovat magma-peräisiä		Kvarts, maasälvät, kiilleet, tummat mineraalit	Maasälvät, tummat mineraalit	Tummat mineraalit	Kivilajirakeet, kvarts, maasälvät ja savimineraalit		Vähintään 50 % rakeista karbonaatteja	Suolapitoiset, karbonaatit, piikivi, hiilipitoiset	Kvarts, maasälvät, kiilleet, tummat mineraalit	Kvarts, maasälvät, kiilleet, tummat mineraalit, karbonaatit	Koostumus		
		Happamat		Intermedi-ääriset	Emäksiset	Ultra-emäksiset									
63	Hyvin karkea-rakeinen	Pyörinyneet rakeet: AGGLOMERAATTI		PEGMATIITTI			PYROKSE- NIITTI	Rakeet ovat kivilajien kappaleita		KALSI- RUDIITTI	TEKTOONINEN BREKSIA		63		
	Karkea-rakeinen	Kulmikkaat rakeet: VULKAANI- NINEN BREKSIA		GABRO				Pyörinyneet rakeet: KONGLOMERAATTI			MIGMATIITTI				
	Keski-rakeinen	TUFFI		DIABAASI				Kulmikkaat rakeet: BREKSIA			GNEISSI				
	Hieno-rakeinen	Hieno-rakeinen TUFFI		RYOLIITTI				Rakeet ovat pääosin mineraalimurskaleita			HORNFELS				
	Hyvin hieno-rakeinen	Hyvin hieno-rakeinen TUFFI		BASALTTI				HIEKKAKIVI			MARMORI				
2							PERIDO- TIITTI	Rakeet ovat kivilajien kappaleita		KALSI- RUDIITTI	KVARTSIITTI		2		
0,063								Pyörinyneet rakeet: KONGLOMERAATTI			LIUSKEET				
								Kulmikkaat rakeet: BREKSIA			AMFIBOLIITTI				
								Rakeet ovat pääosin mineraalimurskaleita			FYLLIITTI				
								HIEKKAKIVI			SAVILUSKE				
0,002							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi		KALSI- SILIITTI	MYLONIITTI		0,002		
								SAVILUSKE: 50% rakeista hyvin hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia			FYLLIITTI				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
								SAVILUSKE: 50% rakeista hienorakeisia			SAVILUSKE				
							LOIITTI (Sav- ja alittsedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi							

SFS-EN ISO 14689-1 standardin mukaan vallitsevan mineraalin tai kivilajifragmenttien sekä perusmassan keskimääräiset raekoot tulee määrittää. Raekoot voidaan arvioida joko silmämääräisesti tai suurennuslasia apuna käyttäen. ISO-luokituksen mukaiset raekokoluokat ovat hyvin hienorakeinen (<0,002 mm), hienorakeinen (0,002-0,063 mm), keskirakeinen (0,063-2 mm), karkearakeinen (2-63 mm) ja hyvin karkearakeinen (>63 mm). Myös perusmassan mineraalikoostumus tulee määrittää Taulukossa 3 esitettyjen termien (silikaattinen, kalkkipitoinen, hiilipitoinen yms.) avulla.

SFS-EN ISO 14689-1 standardin mukaan kalliomateriaalin rapautumista kuvaillaan neljän termin (tuore, väriltään muuttunut, rapautunut ja hajonnut) avulla, joiden tarkemmat selitykset on esitetty Liitteen 1 Taulukossa L1-2. Suomessa kallioerän rapautuminen on pääosin mekaanista eli fysikaalista rapautumista, esimerkiksi pakkasrapautumista. Fysikaalisen ja kemiallisen rapautumisen vaikutuksesta kivi yleensä heikkenee ja syntyy sekundaarimineraaleja, kuten kaoliniittia ja serisiittia, jotka vaikuttavat rakennusteknisiin ominaisuuksiin huomattavasti (Räisänen 1987).

Kalliomateriaalin karbonaattipitoisuus voidaan määrittää, jos se koetaan aiheelliseksi. Karbonaattitesti kertoo sisältääkö kalliomateriaali karbonaattipitoisia mineraaleja, kuten kalsiittia tai dolomiittia (King 2005). Karbonaattipitoisuutta arvioitaessa apuna toimii laimea suolahappo, jota lisätään pieninä määrinä tutkittavalle kohteelle. Karbonaattitestin perusteella voidaan erotella seuraavat ominaisuudet: ei karbonaattia (HCl:n lisäys ei aiheuta kuohumista), kalkkipitoinen (HCl:n lisäys aiheuttaa selvää, mutta ei jatkuvaa kuohumista) ja erittäin kalkkipitoinen (HCl:n lisäys aiheuttaa voimakkaan ja jatkuvan kuohumisen) (SFS-EN ISO 14689-1).

SFS-EN ISO 14689-1 standardin mukaisesti kalliomateriaalin säilyvyys vedelle tai säälle altistettuna tulee arvioida niille määrätyissä olosuhteissa. Kalliomateriaalin säilyvyyttä kuvaillaan kolmen termin (stabiili, melko stabiili ja epästabiili) avulla, joiden tarkemmat kuvaukset löytyvät Liitteen 1 Taulukosta L1-3. Kalliomateriaalin vedenkestävyyttä arvioidaan yhden vuorokauden vesisäilytyksen ja kuivauksen jälkeen. Taulukossa L1-4 on esitetty termit kalliomateriaalin vedenkestävyyden kuvailuun.

Kalliomateriaalin yksiaksiaalinen puristuslujuus voidaan määrittää laboratoriossa tai maastossa. Kalliomassan puristuslujuus riippuu kiven ominaisuuksista sekä jännityksen suunnasta ja suuruudesta (Hoek ja Brown 1997). Puristuslujuutta kuvaillaan seitsemän termin avulla (erittäin heikko, hyvin heikko, heikko, kohtalaisen luja, luja, hyvin luja ja

erittäin luja), joiden tarkemmat kuvaukset löytyvät Liitteen 1 Taulukosta L1-5 (SFS-EN ISO 14689-1).

3.2.3 Kalliomassan kuvaus

Kolmantena vaiheena suoritetaan kalliomassan kuvaus, joka sisältää kivilajin, makrorakenteiden, epäjatkuvuuksien sekä rapautumisen arvioinnin ja mahdollisen pohjaveden vaikutukset kallion rakenteelliseen lujuuteen (SFS-EN ISO 14689-1).

SFS-EN ISO 14689-1 standardin mukaan kalliomassan makrorakenteita kuvailtaessa voidaan käyttää ISO-luokituksessa määritettyjä termejä, kuten poimuttunut, liuskeinen ja/tai massamainen. Liitteen 1 Taulukossa L1-6 on esitetty esimerkkitermejä, joita voidaan käyttää kalliomassan makrorakenteiden kuvauksessa.

Epäjatkuvuudella tarkoitetaan rakennepiirteitä, kuten kerrostumistasoja, rakoja, hiertopintoja, siirroksia tai liuskeisuutta, jotka jakavat yhtenäisen kalliomassan osiin. Ne voivat esiintyä yhtenäisinä ryhminä tai yksittäin (SFS-EN ISO 14689-1). Rakennusgeologiassa epäjatkuvuuksilla tarkoitetaan yleensä nimenomaan rakopintoja. SFS-EN ISO 14689-1 standardin mukaan epäjatkuvuuksien tyyppin kuvauksen lisäksi niiden suuntautuneisuus, jakautumisväli, jatkuvuus, pinnan karheus, avonaisuus ja täytteisyys ja vedenläpäisevyysominaisuudet, rakoparvien määrä ja kalliolohkojen koot tulee määrittää.

Savien kohdalla niiden mahdollinen paisumismahdollisuus tulee ottaa huomioon (SFS-EN ISO 14689-1), sillä se voi aiheuttaa vakavia ongelmia joko louhinnan tai käytön aikana. Mikäli savimineraali sisältää paisuvahilaisia komponentteja, voi se absorboida vettä ja aiheuttaa paisuntapainetta, joka voi johtaa muun muassa ruiskubetonin vaurioitumiseen. Myös pelkkänä rakotäytteenä oleva kuiva savimineraali voi aiheuttaa sortuman, sillä se pienentää kitkakerrointa rakopintojen välillä tai se voi huuhtoutua ulos raoista, joka myös huonontaa stabiliteettia (Wegelius ja Holopainen 1997).

Epäjatkuvuuksien välien, kerrospaksuuksien ja kalliolohkojen muotojen kuvailuun käytettäviä termejä on esitetty Liitteen 1 Taulukoissa L1-7, L1-8 ja L1-9. Rakoilutyyppit on esitetty Taulukossa L1-10. Epäjatkuvuuksien pintojen karheutta kuvaillaan kolmessa eri mittakaavassa. Pienen mittakaavan (mm) karheutta kuvaillaan termeillä karhea tai sileä, keskimääräisen mittakaavan (cm) karheutta kuvaillaan termeillä tasomainen,

porrasmainen tai aaltoileva, suuren mittakaavan (m) karheutta kuvaillaan termeillä aaltomainen, mutkitteleva tai suora. Karheuksien kuvailuun käytettävät termit ja esimerkkikuvat on esitetty Taulukossa L1-11 (SFS-EN ISO 14689-1).

Avaumaksi kutsutaan epäjatkuvuuden vierekkäisten pintojen välistä kohtisuoraa etäisyyttä. Lisäksi mahdollinen tätemateriaali tulee kirjata ylös. Epäjatkuvuuksien avaumien kuvailuun kehitetyt termit on esitetty Liitteen 1 Taulukossa L1-12. Vapaa kosteus tai epäjatkuvuuksista tuleva veden virtaus tulee kuvata käyttäen tilanteeseen sopivia termejä, kuten ”kosteutta kallion pinnalla”. Jos virtausmäärä voidaan mitata, se voidaan ilmoittaa käyttäen Taulukossa L1-13 mainittuja termejä (SFS-EN ISO 14689-1).

Kalliomassan rapautuneisuuden määrittäminen tulee perustua ehjän ja hajonneen kallion jakautumaan ja niiden suhteellisiin osuuksiin. Lisäksi tulee ottaa huomioon rapautuneisuuden mahdolliset vaikutukset epäjatkuvuuspinnoilla (SFS-EN ISO 14689-1). Eri rapautumisasteet jaotellaan Liitteen 1 Taulukossa L1-14 kuuteen erilaiseen luokkaan.

Pohjaveden esiintyminen ja mahdollinen vuotovesi otetaan huomioon, koska ne vaikuttavat kallion louhittavuuteen ja lujuuteen. Kalliotunnelit rakennetaan yleensä aina pohjavesipinnan alapuolelle ja se on otettava huomioon myös suunnittelussa. Kallio tiivistetään injektoimalla eli pumpaamalla injektointimassaa paineella kallioon tiivistämään vettä johtavia rakoja (DI Kalle Holmén, Saanio & Riekkola, henkilökohtainen tiedonanto 2015). Kalliomassan vedenläpäisevyys tulee mitata soveltuvilla testeillä, kuten vesimenekkitestillä (Lugeon testi). Vesimenekkitesti on *in-situ* testaus, jolla testataan kalliomassan keskimääräistä vedenjohtavuutta. Testi suoritetaan eristetyssä kairareiässä, johon pumpataan vettä paineella. Testillä saadaan tietoa sekä kallion vedenjohtavuudesta että veden virtauksen mekanismeista (Fell et al. 2005). Vesimenekkitestien tuloksesta lasketaan Lugeon arvo (Lug) (Fell et al. 2015).

Kalliokuvauksen pohjalta laaditaan raportti, johon sisällytetään vähintään seuraavat tiedot: tekijän nimi, kuvauksen päivämäärä, luokituksessa käytettyjen tietojen alkuperän yksityiskohdat ja näytteiden käsittely, yksityiskohdat tietojen keräyksestä maastossa, kallion tunnistaminen ja kuvaus tämän standardin ISO 14689 -osan mukaisesti ja käytettyjen symbolien ja termien selitykset (SFS-EN ISO 14689-1).

Taulukko 4. ISO-luokituksessa määritettävät parametrit (SFS-EN ISO 14689-1).

ISO-luokituksen parametrit		
1.) Kallion tunnistaminen	2.) Kalliomateriaalin kuvaus	3.) Kalliomassan kuvaus
Kivilajin nimeäminen	Väri	Makrorakenne
	Raekoko	Epäjatkuvuudet
	Perusmassa	Rapautuneisuus
	Rapautuminen	Vedenläpäisevyys
	Karbonaattipitoisuus	
	Kalliomateriaalin säilyvyys	
	Puristuslujuus	

4. TAMPEREEN RANTATUNNELI JA SEN GEOLOGIA

4.1 Rantatunneli

ISO-luokituksen soveltuvuus tunnelikartoitukseen testattiin Tampereelle louhittavassa Rantatunnelissa siellä tehtävän systemaattisen RG-kartoituksen ja Q-luokituksen ohessa. Vuonna 2013 aloitettu Tampereen Rantatunneli -projektin tarkoituksena on rakentaa noin 2,3 kilometrin pituinen maantietunneli ja siihen liittyvät liittymät Santalahden ja Naistenlahden väliselle tieosuudelle. Liikennejärjestelmän tavoitteena on mm. edistää tasavertaisia liikkumismahdollisuuksia kaupunkiseudulla sekä ohjata Tampereen keskustaa sivuava Rantaväylän (vt 12) liikenne mahdollisimman paljon pois keskustan katuverkolta. Näin myös mahdollistetaan Ranta-Tampellan asuntoalueen toteuttaminen noin 3600 asukkaalle. Rantatunnelin toteutusvaiheen hankesuunnitelman on tehnyt Tampereen kaupungin, liikenneviraston ja yritysten yhteenliittymä eli allianssi, jossa Saanio & Riekkola Oy on mukana. Tunneli avataan nykyisen aikataulun mukaan liikenteelle 15.5.2017 ja hanke valmistuu lopullisesti 30.11.2017. Valmistuttuaan tunneli tulee olemaan Suomen pisin maantietunneli (2,3 km), josta kalliotunnelin osuus on 2230 metriä ja loppu on betonitunnelia (Liikennevirasto 2013). Kuvassa 1 on esitetty Rantatunnelin sijainti kartalla.



Kuva 1. Rantatunnelin sijaintia kartalla on merkitty oransseilla viivoilla. Kuva LOUHI Ympäristö (2015) internetsivulta, kuvaan on täydennetty paikkatietoja.

Molemmilla ajosuunnilla on erilliset tunnelit, joiden välinen etäisyys on 11–12 metriä. Kummassakin tunnelissa on kaksi 3,5 metrin ajokaistaa sekä 3,25 metrin levyinen turvakaista. Rantatunnelia louhitaan neljään eri suuntaan kolmella eri alueella: Näsinkallion alue (keskiosa), Santalahden alue (läntinen osa) sekä Naistenlahden alue (itäinen osa). Tunnelilouhinta etenee noin sadan metrin viikkovauhdilla. Lisäksi tunnelialueelle on louhittu työtunneleita ja yhdyskäytäviä, jotka yhdistävät ajoneuvotunnelit noin 150 metrin välein (Liikennevirasto 2013).

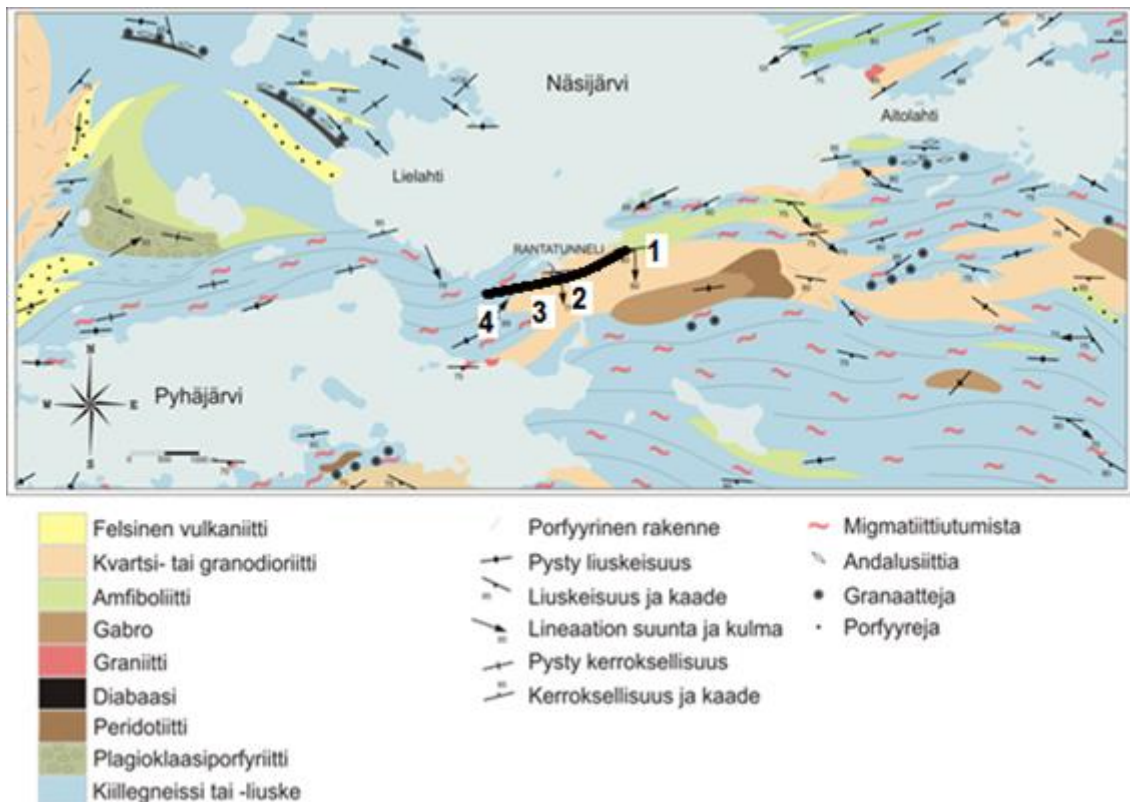
4.2 Alueellinen geologia

Tampereen alueen kallioperän kolme kivilajialuetta ovat Tampereen liuskevyöhyke, Pirkkalan migmatiittialue ja Keski-Suomen granitoidikompleksi. Tampereen liuskevyöhyke ulottuu Kankaanpäästä Päijänteen itäpuolelle ja se on paikoitellen jopa 20 km leveä. Liuskevyöhykettä rajaa pohjoisessa sijaitseva laaja granitoidikompleksi ja etelässä Pirkkalan migmatiittialue. Lukuisia granitoidi-intruusioita on myös tavattu vyöhykkeen sisältä ja reuna-alueilta (Kähkönen 2009).

Kähkösen (2009) mukaan terävä siirrosraja erottaa Pirkkalan migmatiittialueen Tampereen liuskevyöhykkeestä, mutta osittain tapahtuu myös liuskeiden asteittaista vaihtumista gneisseiksi ja migmatiiteiksi. Nirosen (1989) mukaan Tampereen liuskealueen yleisrakenne on itä-länsisuuntainen synkliini eli ylöspäin aukeava poimu, jonka akselitaso on pysty ja poimuakselit yleensä lähes vaakasuoria.

Rantatunneli sijoittuu Näsijärven eteläpuolelle Tammerkosken alueen ympäristöön, jossa pääkivilajina on kiillegneissi ja satunnaisesti esiintyvät granitoidit sekä kiilleliuskeet. Graniittien ja granodioriittien lisäksi Tampereen alueella on myös joitakin dioriittia ja gabroa sisältäviä kallioalueita (Kähkönen 1998). Nikkilä ja Eroma (2013) ovat todenneet, että kiillegneissi on tyypillisesti liuskeista, jossa liuskeisuusaste vaihtelee heikon ja voimakkaan välillä.

Kuvassa 2 on esitetty Tampereen alueen geologinen kartta. Amurin alueella (Kuva 2) kiillegneissin liuskeisuusaste vaihtelee heikon ja kohtalaisen välillä, kun taas Näsinkallion itäpuolella liuskeisuusasteet ovat yleisesti kohtalaisia tai paikoitellen voimakkaita (Nikkilä ja Eroma 2013).



Kuva 2. Tampereen alueen geologinen kartta. Rantatunnelin sijaintia on merkitty mustalla viivalla. Numero 1 merkitsee Naistenlahden aluetta, numero 2 Näsinkallion aluetta, numero 3 Amurin aluetta ja numero 4 Santalahden aluetta. Alkuperäinen kuva Matisto (1977), jota on muokattu Nikkilän ja Eroman (2013) toimesta.

Rantatunnelin alueella on yleisesti kolme päärakosuuntaa, joista tyypillisesti yksi on muodostunut liuskeisuuden suuntaiseksi. Geologisten kartoitusten pohjalta liuskeisuuden kaade tunnelin kohdalla on noin 80–90° suuntaan 170°, itäosassa kaateen suunta on yleisimmin 175°. Päärakosuunnista yleisin on lähes pystyasentoinen, liuskeisuuden suuntaan muodostunut rakoilu, jonka kaade on noin 80° ja kaateen suunta 150°. Toinen

päärakosuunta on lähes pystysuuntainen rakoilu, joka kaatuu 85° kulmassa suuntaan 80° ja kolmas päärakosuunta on lähes vaaka-asentoinen (Nikkilä ja Eroma 2013). Edullisimpana louhintasuuntana voidaan yleisesti pitää liuskeisuutta ja päärakoilua vastaan kohtisuorassa olevaa suuntaa (Korhonen et al. 1974), joka ei kuitenkaan Tampereen Rantatunnelin kohdalla toteudu.

Rantatunnelin alueen rakotiheys vaihtelee vähärakoisesta runsasrakoiseen ja muutoksia rakotiheydessä voi esiintyä hyvinkin lyhyillä matkoilla. Rakoilutyyppejä on yleensä kiilarakoilu mutta satunnaista sekarakoilua on myös havaittu. Raot ovat pääosin tiiviitä, mutta myös avoimia ja täytteisiä rakoja on tavattu. Rikkonaisimmilla alueilla on savi- ja murutäytteisiä rakoja, joiden paksuus on enintään 3-5 cm. Rakopinnoilla esiintyvät mineraalit ovat kloriitti, karbonaatit, grafiitti ja vähäisinä määrinä esiintyy myös kiisuja. Raot ovat paikoin haarniskapintaisia (Nikkilä ja Eroma 2013), eli ne ovat syntyneet hiertoliikkeen vaikutuksesta (Korhonen et al. 1974). Korhosen et al. (1974) mukaan haarniskaraot muodostavat kallioon paikallisen heikkouskohdan, joka voi aiheuttaa kalliolohkojen sortumisen louhinnan yhteydessä. Heikkousvyöhykkeet vaikeuttavat louhintaa ja heikentävät louhittavien tilojen seinämiä ja holveja.

4.3 Rantatunnelin kallioluokitus


4.3.1 RG- ja Q-luokitusten suoritus

Tampereen Rantatunnelissa geologinen kartoitus suoritettiin käyttämällä sekä RG- että Q-luokitus parametreja. Geologinen kartoitus suoritettiin 1-2 louhintaräjähdyksen ja kallion pesun jälkeen noin 5 metrin pätkissä. Kartoituksessa määritettiin kallion laatu ja annettiin arvio sen lujitustarpeesta.

Rantatunnelissa käytettiin Saanio & Riekkolan projektiin muokattua kartoituslomaketta. Kuvassa 3 on esitetty kartoitusalueelta X tehty kartoitus, johon on merkitty päärakosuuntien tiedot, kuten rakotiheys ja raon profiili. Päärakosuuntien ja liuskeisuuden suunnat mitattiin kompassilla ja Q-parametrit arvioitiin, Bartonin et al. (1974) toimesta julkaistujen taulukoiden avulla. Tässä esimerkissä Q-luvuksi saatiin 2,25 eli kalliolaatu oli heikkoa. Tällöin lujitussuositus oli p (=poor) (Barton et al. 1974).

Rakoprofiilien karheuksien kuvaamiseen käytettiin niille suunnattuja lyhenteitä, kuten USM (= undulating smooth) ja SRO (= stepped rough) (Norwegian Geotechnical Institute, lyh. NGI 2013), jotka on johdettu Q-luokituksen J_r -parametrasta. Raot myös piirrettiin systemaattisesti niin sanottuun vaippakuvaan (Kuva 4), jossa esitetään tunnelin seinät ja holvi. Kartoituksen jälkeen rakotiedot tallennettiin projektipankkiin, josta ne ovat myöhemmin käytettävissä esimerkiksi 3D-mallinnusta varten.

Kalliolaatuluokan määrittämisen jälkeen pääarakosuuntien ja liuskeisuuden sijainnit suuntineen sekä mahdolliset vesivuodot piirretään vaippakuvaan. Lisäksi holvista, sekä sen vasemmalta ja oikealta seinäältä otetaan valokuvat, jotta kalliorakennussuunnittelija pystyy myöhemmin kuvien perusteella hyväksymään geologien määrittämän lujitusluokan. Kuvassa 4 vasemmalla on esitetty vaippakuva, johon on merkitty punaisella pääarakosuunnat, sinisellä liuskeisuudet ja vaalean sinisenä pisarana vesivuodot. Vesipisarot väritetään sen mukaan, kuinka voimakas vesivuoto on. Kuvassa 4 oikealla puolella on kuvia kartoituskohteesta. Kartoituksen nopeuttamiseksi kivilajien ja mineraalien nimeämiseen sekä rakoprofiileille käytetään niille tarkoitettuja lyhenteitä ja merkintöjä, jotka on esitetty Kuvassa 5. Liitteessä 3 on esitetty RG- ja Q-luokitusten mukaisesti tehdyt kartoitustulokset kartoitusalueilta A, B, C, D ja E, joissa suoritettiin myös ISO-luokituksen mukaiset kartoitukset.

Projekti _____ Plv. alku _____ Tilatunnus _____ Plv. loppu _____ Katsontasuunta _____ Päivämäärä 1.9.2014 Geologi Elina Hankiola Suunnittelija _____ Työnjohtaja vuorossa _____ Louhintaprofiili _____ Kalliolaatu, ennakoarvio 1...4 Lujitusuositus, ennakoarvio _____ p Kalliomekaaninen erikoisalue _____ Panostus _____ Poraus _____ Pultitus _____ Ruiskubetonointi seuraavaksi _____	 Koordinaatisto ETRS-GK24 Korkeusjärjestelmä N2000 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> LUJITUSSUOSITUS p </div>
--	---

Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n matkalla Heikko

Päärakosuunnat										Mineraalit (M1-M3)		
Ri	kaade°	k suunta°	Rtiheys	Rlaatu	Rpituus	Jr	Ja	Rprofiili	M1	M2	M3	
	80	280	<1/m	täytteinen	> 10 m	2	2	USM	KL	RU		
L	85	160	3..10/m	täytteinen	1...5 m	2	1	USM	BT			
	30	150	1..3/m	täytteinen	5...10 m	2	4	USM	RU	SA	KL	
	35	310	<1/m	täytteinen	5...10 m	2	2	USM	KL	RU		
	15	75	1..3/m	täytteinen	1...5 m	3	2	URO	KL	CC	RU	

Kivilaji KGN Kalliolaatu Li2 Rapautuneisuus Rp0 L_aste L2 L_kaade° 85 L_k_suunta° 160	Raekoko 1...5 mm Rakoilutyyppi Kiila Vuotovesi Kosteaa Savi 0,2 cm rako 30/150 Näyte ei
--	--

Q-parametrit (geologia)

RQD 75	Jr 2	Jw 0,9	Q luku 2,25
Jn 15	Ja 4	SRF 1	Q laatu Heikko

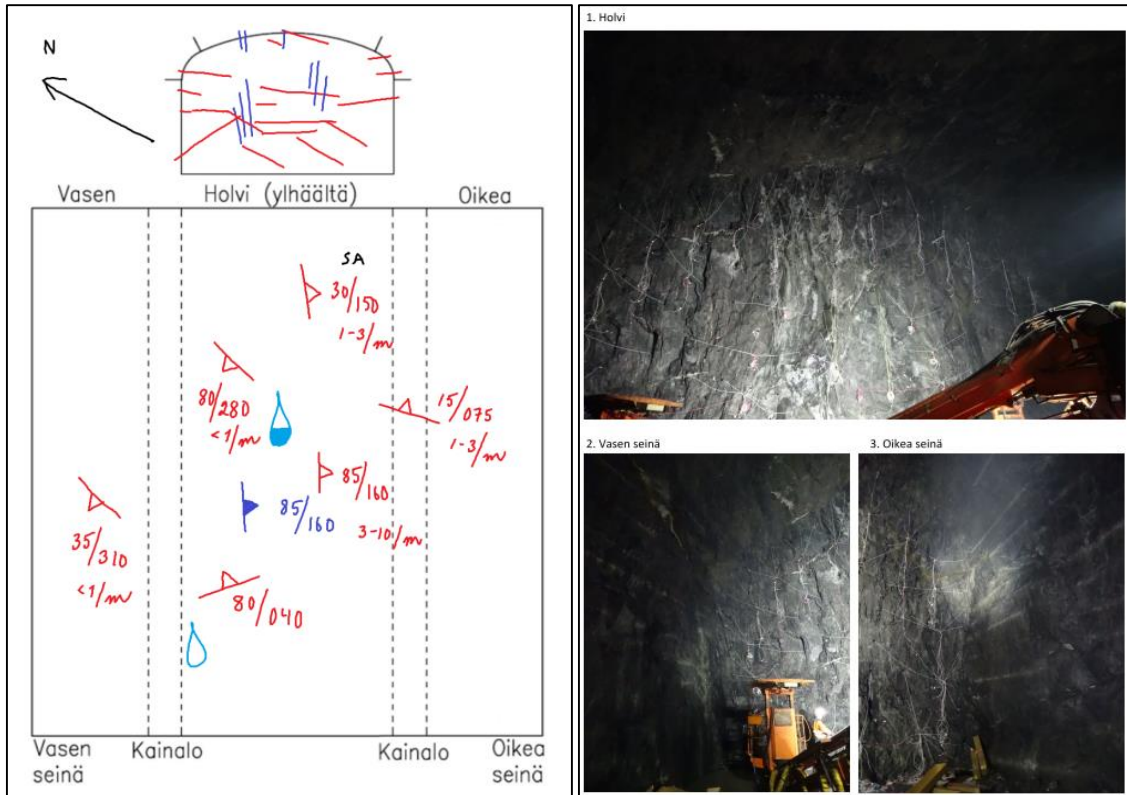
Q muunnettu (katkon kalliolaadusta poikkeava ruhje tai suunnittelun näkökulman mukaan)

RQD 	Jr 	Jw 	Q luku ####
Jn 	Ja 	SRF 	Q laatu

Muita huomioita

Liuskeisuuden kaateen suunta vaihtelee. Lisäksi rakosuunta 80/040.

Kuva 3. Kartoitusalueelta X tehty RG- ja Q-luokitus.



Kuva 4. Vaippakuva (vasemmalla), johon merkitään pääarakosuuntien (punaisella) ja liuskeisuuden (sinisellä) kaade/kaateen suunta, mahdolliset vesivuodot sekä rakotiheydet. Lisäksi jokaisesta kartoituskohteesta otetaan edustavat kuvat (oikealla).

Mineraalit

CC= kalsiitti
 KL= kloriitti
 EP= epidootti
 KA= kaoliini
 KV= kvartsi
 SA= savi

Kivilajit

Amfiboliitti (AFB)
 Diabaasi (DB)
 Dioriitti (DR)
 Gabro (GB)
 Graniitti (GR)
 Graniittigneissi (GRGN)
 Granodioriitti (GRDR)
 Hiekkakivi (HKV)
 Kalkkikivi (marmori) (KLK)
 Migmatiitti (MGT)
 Maapeite (MAA)
 Pegmatiitti (PG)
 Peridotiitti (PRD)
 Rapakivi (RPGR)
 Sarvivälkegneissi (SVGN)
 Savikivi (SAVK)
 Talkkiliuske (TLKL)
 Tonalitti (TON)
 Kiillegneissi (KGN)
 Kiilleliuske (KL)
 Kintsigiitti (KZ)
 Kloriittiliuske (KLOL)
 Kvartsiitti (KVT)
 Kvartsimaasälpäliuske (KVMSL)
 Kvartsimaasälpägneissi (KVMSGN)
 Leptiitti (LP)
 Lohkareita (L)

IM= injektointimassa
 SK= kiisut (rikki, arseeni, magneetti)
 GR= grafiitti
 HE= hematitiitti
 RU= ruoste
 BT= biotiitti

Rakoprofiili (Rpro)

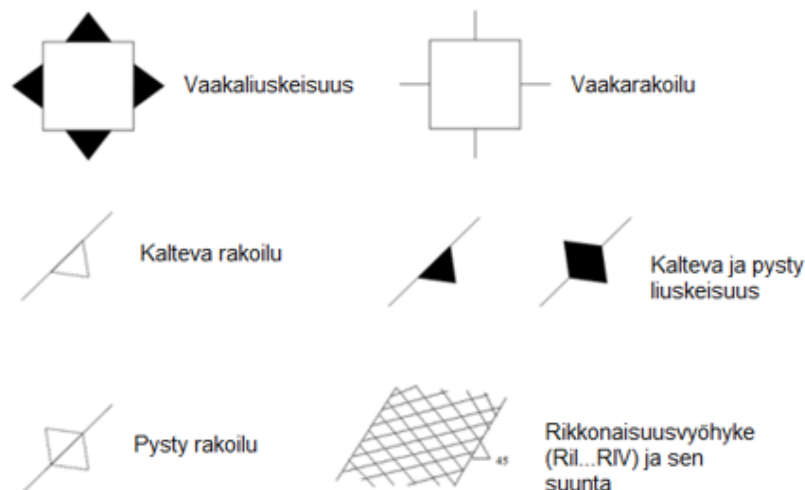
SRO=stepped rough (Jr=4)
 URO=undulating rough (Jr=3)
 PRO=planar rough (Jr=1,5)
 SSM=stepped smooth (Jr=2)
 USM=undulating smooth (Jr=2)
 PSM=planar smooth (Jr=1)
 SSL=stepped slickensided (Jr=1-2)
 USL=undulating slickensided (JR=1,5)
 PSL=planar slickensided (Jr=0,5)

Raekoko (mm)

Hienorakeinen <1
 Keskirakeinen 1...5
 Karkearakeinen 5...10
 Suurirakeinen >10

Muut lyhenteet

TCF=Tunnel Crosscutting Fracture
 L=liuskeisuus
 M=merkittävän lohkon muodostama rakosuunta
 Ri=päärakosuunnat

Rakomerkinnot

Kuva 5. Kartoituksessa käytetyt lyhenteet ja rakomerkinnot. Hankkeessa käytetyt lyhenteet ovat kehittäneet Lampinen ja Eroma (2013), joista rakoprofiilien lyhenteet on johdettu Bartonin et al. (1974) kehittämien termien pohjalta.

4.3.2 RG- ja Q-luokitusten tulokset

RG- ja Q-luokitusten mukaisesti tehtyjen kartoitusten pohjalta voidaan todeta, että Rantatunnelin alueen kallioperä on pääosin kalliolaadultaan kohtalaista, mutta siinä esiintyy satunnaisesti heikompia kallio-osia. Tunnelin louhiminen liuskeisuuden suuntaisesti aiheuttaa eniten rakennusteknisiä haasteita työn hidastumisena. Liuskeisuusaste vaihtelee alueella melko paljon, lähes massamaisesta voimakkaasti liuskeiseen. Tunnelin alueella on havaittu muutama heikkousvyöhyke liuskeisuuden suunnassa ja hirtosaumojia. Raoissa yleisimmät täytteet ovat kloriitti, savi, rikkikiisu ja erilaiset hapettuneet ainekset ("ruoste"). Paisuvahilaisia savia on tavattu vain muutamassa näytteessä tähän mennessä, mutta niistä tehdyissä paisuntapainekokeissa savien paisuntavoima on ollut kalliorakentamisen kannalta merkityksetön. Päärakosuunnat alueella ovat itä-länsi-suunnassa kulkeva liuskeisuuden suuntainen rakoilu, pysty pohjois-etelä-suuntainen rakoilu sekä kaksi loiva-asentoista rakoilua, jotka kaatuvat joko luoteeseen tai eteläkaakkoon.

5. ISO-LUOKITUKSEN MUKAINEN KARTOITUS

5.1 ISO-luokituksen mukainen kartoitus

ISO-luokituksen mukainen kartoitus suoritettiin merkitsemällä kartoitushavainnot tätä varten laaditulle kartoituspohjalle, joka perustuu ISO-luokituksen mukaisiin parametreihin. Lomakkeelle on otettu mukaan myös Q-parametrit, koska ISO-luokituksen yhteydessä haluttiin samalla testata mahdollisuutta hyödyntää ISO-parametreja Q-lukukartoituksessa. Tätä on käsitelty tarkemmin luvussa 5.2. Kartoituslomake on esitetty Kuvassa 6.

Kartoitus pyrittiin suorittamaan geologisesti vaihtelevilla ja monipuolisilla tunneliosuuksilla. Kartoituskohteen sijainti oli kuitenkin riippuvainen louhinnan edistymisestä. Kartoitus suoritettiin niissä tunnelikatkoissa, joissa louhintaräjähdyksen jälkeiset toimenpiteet, kuten rusnaus ja pesu olivat suoritettu ja joissa geologien

arvioimaa laatuarviota tarvittiin kallion lujitussuositusta varten. Kartoituksen apuna käytettiin kompassia, geologivasaraa, luuppia/suurennuslasia, laimeaa suolahappoa, rakotulkkia sekä profiilikampaa.

Kartoitukset tehtiin viidessä eri tunnelikatossa alueilla A, B, C, D ja E. Näsinkallion alueella kartoituksia tehtiin neljä ja Naistenlahden alueella yksi. Näsinkallion alueella, eteläisessä ajoneuvotunnelissa, kartoitukset tehtiin alueilla A, B ja C. Kartoitusalue D sijaitsee Näsinkallion kuilussa. Naistenlahden alueella kartoitus tehtiin, pohjoisessa ajoneuvotunnelissa alueella E. Kuvassa 1 on esitetty Näsinkallion ja Naistenlahden sijainti Tampereen Rantatunnelissa.

SAANIO & RIEKKOLA OY
TUNNUSMERKISTÖ

Projekti _____ Plv. Alku _____
(nimi, numero) _____ Plv. Loppu _____
Tilatunnus _____ Katsontasuunta _____

Päivämäärä _____ Koordinaatisto _____
Geologi _____ Korkeusjärjestelmä _____
Suunnittelija _____

Työnjohtaja _____ SEURAAVA TYÖVAIHE:
(vuorossa) _____ Panostus _____
Louhintaprofiili _____ Poraus _____
Kalliolaatu, Q-luku _____ Pultitus _____
(ennakkoarvio) _____ Ruiskubetonointi _____
Lujitusuusitus _____
(ennakkoarvio) _____
Kalliomekaaninen _____ **LUJITUSSUOSITUS:** _____
erikoisalue _____

Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n/katkon matkalla: _____

(1.) Kivilaji = _____ (2.) Kivilaji = _____

Kalliomateriaalin* kuvaus

Väri:	_____	Kalliomateriaalin
Raekoko (mm):	_____	säilyvyys: _____
Perusmassa (raekoko, mm.):	_____	Kalliomateriaalin
Perusmassa (mineraalikoostum.):	_____	vedenkestävyys: _____
Rapautuneisuus:	_____	Puristuslujuus: _____
Karbonaattipitoisuus:	_____	

Kalliomateriaalin (2.)* kuvaus

Väri:	_____	Kalliomateriaalin
Raekoko (mm):	_____	säilyvyys: _____
Perusmassa (raekoko, mm.):	_____	Kalliomateriaalin
Perusmassa (mineraalikoostum.):	_____	vedenkestävyys: _____
Rapautuneisuus:	_____	Puristuslujuus: _____
Karbonaattipitoisuus:	_____	

Kalliomassan* kuvaus

Makrorakenne:	_____	Vesivuoto:	_____	Kalliomassan
Rakointutyyppi:	_____	Kerrospaksuus:	_____	veden-
Rapautuneisuus:	_____	Kalliolohkojen	_____	läpäisevyys: _____
Kalliopaljastuman koko (m²):	_____	koko:	_____	

Epäjatkuvuudet* (päärakosuunnat)

Tyyppikuvaus	kaade*/ksuunta*	Epäjatkuvuuksien välimatka (mm)	Epäjatkuvuuksien ulottuvuus (m)	Rakopinnan karheus (mm)	(cm)	(m)	Avauman leveys	Täyttemateriaali
								1 2 3

Q-parametri (koko kalliomassalle)

RQD= _____ Jr= _____ Jw= _____ Q-luku: #JAKO/01
Jn= _____ Ja= _____ SRF= _____ Q-laatu: _____

Q-parametri (rikkonaisuusvyöhykkeelle)

RQD= _____ Jr= _____ Jw= _____ Q-luku: #JAKO/01
Jn= _____ Ja= _____ SRF= _____ Q-laatu: _____







Muita huomioita:

Kuva 6. ISO- ja Q-parametrien mukaan laadittu kartoituslomake.

5.2 Q-parametrien johtaminen ISO-luokituksen mukaisista kartoitustuloksista

Q-luokitus perustuu numeerisiin arvoihin, joista osa johdettiin suoraan ISO-luokituksen parametreista. Rakopintojen karkeutta (J_r), arvioitiin rakopintojen karheuksien mukaan. Alla on esitetty esimerkki siitä (Taulukko 5), miten rakopinnat mahdollisesti kuvailisivat rakopintojen karkeuslukua (J_r). Q-luku laskukaavaan sisällytetään se J_r :n arvo, joka edustaa epäedullisinta pääarakosuuntaa eli sitä epäjatkuvuuspintaa, joka vaikuttaa merkittävimmin kalliomassan stabiilisuuteen. Esimerkiksi jos rakopinnan suuren mittakaavan (useita metrejä) profiili arvioidaan aaltomaiseksi, keskimääräisen mittakaavan (useita senttimetrejä) profiili aaltoilevaksi ja pienen mittakaavan (useita millimetrejä) profiili karheaksi, sen J_r -arvoksi saadaan kolme. Yleisesti voidaan todeta, että mitä portaittaisempaa ja karheampaa rakoprofiili on, sitä suurempi on J_r -arvo. Rantatunnelin kohdalla epäedullisin pääarakosuunta kulki yleensä tunnelin suuntaisesti liuskeisuuden kanssa samassa suunnassa. Rakopintojen karheuksien arviointi ei turvallisuussyistä välttämättä aina onnistu jokaisessa eri mittakaavassa, jolloin arvioidaan raon karheus vain suuressa mittakaavassa.

Taulukko 5. Esimerkki siitä, miten epäjatkuvuuspintojen karheudesta voisi mahdollisesti johtaa Q-luku parametrin, J_r , arvon. Mukailten SFS-EN ISO 14689-1.

	Karhea (epäsäännöllinen)	Sileä
	$J_r=4$	$J_r=3-4$
Portaittainen		
	$J_r=3$	$J_r=2$
Aaltoileva		
	$J_r=1,5$	$J_r=0,5-1$
Tasomainen		

Rakojen mahdollisista täytemateriaaleista, kuten savitäytteistä ja rakojen avonaisuudesta on mahdollista arvioida Q-luku parametri J_a , joka kuvastaa rakopintojen muuttuneisuutta. J_a -luku vaihtelee välillä 0,75-20: pienet arvot edustavat rakopintoja, jotka ovat kiinni toisissaan tai niitä erottaa ohut hiekka- ja/tai savitäyte, suuret arvot edustavat rakopintoja, jotka eivät ole kiinni toisissaan ja niitä erottavat yleensä paksut savikerrokset. J_a -luku arvioidaan J_r -luvun tavoin epäedullisimmasta pääarakosuunnasta, jota pitkin mahdollinen sortuminen tapahtuisi. Esimerkiksi, jos rako on pinnaltaan hieman muuttunut ja sisältää pieniä määriä savimineraaleja, kuten kaoliinia, saadaan epäjatkuvuuspinnan J_a -arvoksi kolme. Jos rakopinnat eivät ole kiinni toisissaan ja täytemateriaalina on paksu savivyöhyke, J_a -luku on välillä 10-20, riippuen saven laadusta ja paisuvuudesta (Barton et al. 1974).

6. KARTOITUSTULOKSET

6.1 ISO-luokituksen mukaiset kartoitustulokset

Jokaisessa viidessä ISO-luokitellussa tunnelikatossa pääkivilajina oli tumman harmaa kiillegneissi, jonka keskimääräinen raekoko vaihteli keskirakeisen (0,063-2 mm) ja karkearakeisen (2-63 mm) välillä. Perusmassa muodostui biotiitista, kvartsista, muskoviitista, maasälvistä ja pienistä määristä kiisuja. Missään tunnelikatossa ei esiintynyt karbonaattipitoisia mineraaleja. Rapautuneisuuden, kalliomateriaalin vedenkestävyyden ja sään suhteen kartoituskohteet olivat rapautumattomia ja stabiileja. Kuvassa 7 on havainnollistettu kalliomateriaalista tehtyjä karbonaattipitoisuuden määrityksiä ja vedenkestävyydestejä. Raot olivat osittain täytteisiä tai täysin tiiviitä. Yleisimpiä täytemineraaleja olivat kloriitti, kiisut ja pieni määrä savea. Kartoitettujen tunnelipintojen koko vaihteli noin 75 m²:stä yli 90 m²:iin. Liitteessä 4 on esitetty ISO- ja Q-luokituksen mukaiset kartoitustulokset jokaisesta viidestä tunnelikatosta.



Kuva 7. Vasemmassa kuvassa kallion seinämä, jolle tehtiin karbonaattitesti laimealla suolahapolla. Oikean puoleisessa kuvassa arvioidaan kiven vedenkestävyyttä yhden vuorokauden mittaisen vesisäilytyksen ja kuivauksen jälkeen.

6.1.1 Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue A

Näsinkallion eteläisen ajoneuvotunnelin, kartoitusalueen A, kalliomateriaalin puristuslujuus arvioitiin hyvin lujaksi (100-250 MPa), koska koenäyte tarvitsi murtuakseen monta iskua geologivasaralla. Rakenteeltaan kiillegneissi oli gneissimäistä ja liuskeista. Päärakoilutyypinä oli kiilarakoilu, jolloin kalliossa esiintyy kolme tai useampia vallitsevia vinoja epäjatkuvuussarjoja, jotka muodostivat vinoja tasamittaisia lohkoja. Kallion pinta oli vuotoveden suhteen kuiva. Kalliolohkot olivat kooltaan suuria eli niiden sivujen keskimääräiset pituudet vaihtelivat, välillä 600-2000 mm. Kuvassa 8 on esitetty kartoitusalueen A kallioseinämästä otettuja kuvia.



Kuva 8. Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue A.

Kalliomassan vedenläpäisevyys arvioitiin urakoitsijan tekemien Lugeon testien tulosten avulla. Lugeon testejä tehtiin neljässä 24 metrin rei'issä. Jokaisesta reiästä tehtiin kolme mittausta, joiden paineet olivat 0,8 MPa ja mittausajat vaihtelivat 43 minuutista 46 minuuttiin. Rei'issä 1 ja 2 Lugeon arvoiksi saatiin 0,01 ja rei'issä 3 ja 4 Lugeon-arvot olivat nolliä. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että kallion keskimääräinen vedenjohtavuus tuolla alueella oli hyvin heikkoa tai osittain olematonta, mikä viittaa hyvin tiiviiseen kallioon (raot tiiviitä tai täytteisiä).

Pääarakosuuntia oli kolme, joista yksi oli liuskeisuuden suunnassa. Liuskeisuuden suuntaisen rakoilun kaade ja kaateen suunta oli 50/160 ja niiden keskinäinen välimatka

oli 60-200 mm (pieni). Liuskeisuuden suuntaisen rakoilu pituus oli yli 10 metriä. Rakoprofiili oli suuressa mittakaavassa aaltomaista. Toisen pääarakosuunnan kaade ja kaateen suunta oli 30/280. Epäjatkuvuuksien keskinäinen välimatka oli 60-200 mm (pieni) ja niiden pituus oli 5-10 metriä. Suuressa mittakaavassa rakoprofiili oli aaltomaista.

Kartoitusalueen A kolmannen pääarakosuunnan kaade ja kaateen suunta oli 80/110. Epäjatkuvuuksien keskinäinen välimatka oli 600-2000 mm (suuri) ja niiden pituus oli 5-10 metriä. Rakoprofiilit oli mahdollista arvioida jokaisessa kolmessa mittakaavassa: pienessä mittakaavassa (mm) rakoprofiili oli sileää, keskimääräisessä mittakaavassa (cm) tasomaista ja suuressa mittakaavassa (m) aaltomaista.

6.1.2 Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue B

Näsinkallion alueella sijaitsevaa eteläistä ajoneuvotunnelia, kartoitusaluetta B, leikkasi useasta kohtaa haarautuva ja osittain poimuttunut pegmatiittijuoni, jonka keskimääräinen paksuus oli 50 cm. Sekä kiillegneissi että pegmatiitti olivat vasaratestin perusteella hyvin lujia (100-250 MPa). Kartoitusalue B sijoittuu edellisen kartoituksen kanssa samalle vesimenekkimittausalueelle, joten vesimenekkitestin tulokset ovat samat kuin edellisessä tunnelikatkoissa. Kuvassa 9 on esitetty kartoitusalueen B tunnelikatko, josta kartoitus tehtiin.



Kuva 9. Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue B.

Pegmatiittijuonessa kalliomateriaali oli väriltään valkoista. Vallitsevien mineraalien, pääosin kvartsin ja plagioklaasin, keskimääräinen raekoko oli yli 63 mm, jolloin kivilaji on hyvin karkearakeista. Perusmassan keskimääräinen raekoko oli 2-63 mm, jolloin puhutaan karkearakeisesta kivilajista. Perusmassa koostui pääosin biotiitista, kvartsista, plagioklaasista, rikkikiisusta ja pienistä määristä muskoviittia. Rapautuneisuudesta eikä karbonaattipitoisista mineraaleista ollut merkkejä. Kalliomateriaali oli säilyvyyden ja vedenkestävyyden suhteen stabiilia.

Kalliomassa oli rakenteeltaan gneissimäistä ja liuskeista. Kalliossa esiintyi epäsäännöllisiä epäjatkuvuuksia, jotka eivät olleet järjestäytyneet selviin ryhmiin, joten rakoilutyyppi oli sekarakoilu. Kalliomassa oli pääosin kuivaa. Kalliolohkot olivat kooltaan suuria eli niiden keskimääräiset lohkojen sivujen pituudet vaihtelivat välillä 600-2000 mm.

Kartoitusalueelta B erotettiin kaksi päärakosuuntaa ja kolme muuta satunnaista rakosuuntaa. Päärakosuuntien kaateet ja kaateiden suunnat olivat 85/330 ja 45/110, joista ensimmäinen rakosuunta kulki liuskeisuuden kanssa samassa suunnassa. Liuskeisuuden suunnassa kulkevassa päärakosuunnassa epäjatkuvuuksien keskimääräinen välimatka oli välillä 600-200 mm, ja epäjatkuvuuksien pituus oli 1-5 metriä.

Rakopintojen karheus pystyttiin arvioimaan jokaisessa kolmessa mittakaavassa. Pienen mittakaavan (mm) karheus oli sileää, keskimääräisen mittakaavan (cm) karheus oli aaltoilevaa ja suuren mittakaavan (m) karheus oli aaltomaista. Toisen pääarakosuunnan epäjatkuvuuksien keskimääräinen välimatka oli 600-2000 mm, ja niiden pituus 5-10 metriä. Rakopinnan karheus oli pienessä mittakaavassa sileää, keskimääräisessä mittakaavassa aaltoilevaa ja suuressa mittakaavassa aaltomaista.

6.1.3 Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue C

Kolmas ISO-luokitus suoritettiin Näsinkallion alueella, eteläisessä ajoneuvotunnelissa kartoitusalueella C. Vasaratestin perusteella kallio oli hyvin lujaa, jolloin sen yksiaksiaalinen puristuslujuus on välillä 100-250 MPa. Kuvassa 10 on esitetty kyseisen kartoitusalueen tunnelin holvi.

Kartoitusalueella C tehty ISO-luokitus sijoittuu alueelle, jossa vesimenekkimittaus tehtiin neljässä 24 metrin rei'issä. Mittausaika vaihteli 43 minuutista 46 minuuttiin. Mittauspaine oli jokaisessa neljässä reiässä 0,8 MPa. Kolmessa reiässä Lugeon arvoksi saatiin nolla ja yhdessä reiässä mittaustulos oli 0,02 Lugeonia. Kallion vedenjohtavuus on tällöin hyvin pieni, mikä viittaa siihen, että kallion raot ovat hyvin tiiviitä tai täytteisiä.



Kuva 10. Näsinkallion eteläinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue C.

Kartoitusalueen C kalliomassan rakenne oli gneissimäistä ja liuskeista. Päärakoilutyypinä oli kiilarakoilu. Vesivuotoa oli hyvin vähän. Kalliolohkojen sivujen keskimääräiset pituudet olivat yli 2 metriä, jolloin lohkot luokitellaan hyvin suuriksi. Kalliossa esiintyi kolme päärakosuuntaa, joista yksi esiintyi liuskeisuuden kanssa samassa suunnassa.

Liuskeisuuden kanssa samassa suunnassa esiintyvän rakosuunnan kaade ja kaateen suunta oli 85/350. Epäjatkuvuuksien keskinäinen välimatka oli 60-200 mm ja niiden pituus oli yli 10 metriä. Rakopintojen karheus oli pienessä mittakaavassa sileää, keskimääräisessä mittakaavassa aaltoilevaa ja suuressa mittakaavassa aaltomaista. Rakojen avaumat olivat pääosin tiiviitä jokaisessa kolmessa eri päärakosuunnassa, mutta paikoitellen esiintyi räjäytyksestä syntyneitä avonaisia rakoja, joiden syvyys oli vain kahden senttimetrin luokkaa. Räjäytyksestä syntyneitä avonaisia rakoja ei otettu huomioon.

Toisen päärakosuunnan kaade ja kaateen suunta oli 35/170. Niiden keskinäinen välimatka oli 200-600 mm ja pituus 5-10 metriä. Rakopintojen karheus pystyttiin arvioimaan ainoastaan suuressa mittakaavassa, jolloin se määritettiin aaltomaiseksi. Kolmannen

päärakosuunnan kaade ja kaateen suunta oli 40/290 ja niiden keskinäinen välimatka oli 200-600 mm ja pituus yli 10 metriä. Rakopinnan suuren mittakaavan karheus arvioitiin aaltomaiseksi.

6.1.4 Näsinkallion kuilu, kartoitusalue D

Neljäs ISO-luokitus suoritettiin Näsinkallion pohjoispuoleisessa kuilussa, kartoitusalueella D. Vasaratestin perusteella kallio oli hyvin lujaa. Kuvassa 11 on esitetty Näsinkallion kuilun tunnelikatko, josta kartoitus tehtiin.



Kuva 11. Näsinkallion kuilu, kartoitusalue D.

Kartoitusalueella D suoritettu kartoitus sijoittuu alueelle, jossa vesimenekkimittaus suoritettiin kahdessa 24 metrin rei'issä. Mittausaika oli kummassakin reiässä 5 minuuttia. Mittauspaine oli ensimmäisessä reiässä 0,7 MPa ja toisessa reiässä 0,77 MPa. Ensimmäisellä mittauksella Lugeon arvoksi saatiin 0,46 ja toisella mittauksella tulos oli 0,31. Kallion vedenjohtavuus oli edelleen heikko.

Kartoitusalueen D kalliomassa oli rakenteeltaan gneissimäistä ja liuskeista. Päärakoilutyypinä oli kuutiorakoilu. Vuotoveden suhteen kallio oli kuiva. Kalliolohkojen sivujen keskimääräiset pituudet olivat yli 2000 mm. Tunnelikatossa esiintyi kolme päärakosuuntaa, joista yksi oli liuskeisuuden kanssa samassa suunnassa. Liuskeisuuden kanssa samansuuntaisen raon kaade ja kaateen suunta oli 80/160. Rakojen keskinäinen välimatka oli 60-200 mm ja pituus yli 10 metriä. Rakopintojen karheudet olivat pienessä mittakaavassa sileitä, keskimääräisessä mittakaavassa aaltoilevia ja suuressa mittakaavassa aaltomaisia. Kuvassa 12 on havainnollistettu rakoprofiilin määrittämistä profiilikamman avulla.



Kuva 12. Rakoprofiilin määrittämistä profiilikamman avulla.

Kartoitusalueen D toisen päärakosuunnan kaade ja kaateen suunta oli 85/040. Epäjatkuvuuksien keskinäinen välimatka oli 200-600 mm, ja niiden pituus 1-5 metriä. Rakopintojen karheudet olivat jokaisessa kolmessa eri mittakaavassa samanlaiset kuin liuskeisuuden kanssa samansuuntaisessa raossa. Kartoitusalueen D kolmannen päärakosuunnan kaade ja kaateen suunta oli 20/270. Epäjatkuvuuksien keskinäinen välimatka oli 200-600 mm ja niiden pituus oli yli 10 metriä. Rakopintojen karheus,

pystyttiin määrittämään ainoastaan suuressa mittakaavassa, jossa se arvioitiin mutkittelevaksi.

6.1.5 Naistenlahden pohjoinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue E

Viides ISO-luokitus suoritettiin Naistenlahden alueella, pohjoisessa ajoneuvotunnelissa kartoitusalueella E. Kuvassa 13 on esitetty Naistenlahden alueella sijaitseva tunnelikatko, josta kartoitus tehtiin. Vasaratestin perusteella kallio oli hyvin lujaa eli sen yksiaksiaalinen puristuslujuus oli 100-250 MPa.

Tehty kartoitus sijoittuu alueelle, jossa vesimenekkimittaus tehtiin neljässä eri reiässä, joiden pituus oli 24 metriä. Mittausaika jokaisessa reiässä oli 5 minuuttia ja mittauspaine 1 MPa. Ensimmäisessä mittauksessa Lugeon arvoksi saatiin 0,16, toisessa mittauksessa 0,1 ja kahdessa viimeisessä mittauksessa tulos oli nolla. Kalliomateriaali oli siis vedenjohtavuuden suhteen todella tiivistä.



Kuva 13. Naistenlahden pohjoinen ajoneuvotunneli, kartoitusalue E.

Kalliomassa oli rakenteeltaan gneissimäistä ja liuskeista. Kiilarakoilu oli vallitseva rakoilutyyppe. Kalliossa ei esiintynyt vesivuotoja. Kalliolohkot olivat kooltaan hyvin suuria, jolloin niiden sivujen keskimääräiset pituudet olivat yli 2000 mm.

Naistenlahdella tehdyssä kartoituskohteessa esiintyi kaksi vallitsevaa päärakosuuntaa, joista toinen oli liuskeisuuden suuntainen. Liuskeisuuden suuntaisen raon kaade ja kaateen suunta oli 85/340. Rakojen keskinäinen välimatka oli 200-600 mm, ja niiden pituus yli 10 metriä. Rakopintojen pienen mittakaavan karheus oli sileää, keskimääräisen mittakaavan karheus aaltoilevaa ja suuren mittakaavan karheus aaltomaista.

Kartoitusalueen E toisen päärakosuunnan kaade ja kaateen suunta oli 80/090. Rakojen keskinäinen välimatka oli suurta eli 600-2000 mm ja niiden pituus 5-10 metriä. Rakoprofiilien karheudet olivat samanlaiset kuin liuskeisuuden suuntaisessa rakoilussa eli pienessä mittakaavassa sileitä, keskimääräisessä mittakaavassa aaltoilevia ja suuressa mittakaavassa aaltomaisia.

6.2 Q-luokituksen mukaiset kartoitustulokset

Näsinkallion eteläisessä ajoneuvotunnelissa kartoitusalueella A esiintyi kolme päärakosuuntaa ja useampi muu satunnainen rakosuunta, joten RQD-luvuksi arvioitiin 75 (%) (Taulukko 1) ja rakosuuntien lukumäärätekijäksi (J_n) saatiin 12. Rakopintojen karkeusluku (J_r) johdettiin ISO-luokituksen mukaisesti määritetyistä rakopinnan karheuksista epäedullisimmasta rakosuunnasta eli tunnelin suuntaisesta rakoilusta. Tässä tapauksessa J_r -arvoksi saatiin kaksi, koska rakopinta oli pienessä mittakaavassa sileää ja suuressa mittakaavassa aaltomaista. Rakopintojen muuttuneisuusluku (J_a) arvioitiin täyttemateriaalien perusteella myös epäedullisimmaksi arvioidusta rakosuunnasta. J_a -arvoksi saatiin neljä, koska liuskeisuuden suuntaisessa raossa esiintyi pieniä määriä savea, kloriittia ja ruostetta. Rakojen vedenläpäisevyysluvuksi (J_w) ja jännitystilaluvuksi (SRF) annettiin lukuarvo yksi, koska kalliotilat olivat suhteellisen kuivia ja edustivat hyvää kalliota, jossa vallitsi keskinkertaiset jännitykset. Näiden parametrien pohjalta Q-luvuksi saatiin 3,125, joka edustaa heikkoa kalliolaatua. Kaavassa 5 on havainnollistettu Q-luvun laskeminen (vrt. Kaava 3).

$$Q = \frac{75}{12} \times \frac{2}{4} \times \frac{1}{1} = 3,125 \quad (5)$$

Näsinkallion eteläisessä ajoneuvotunnelissa kartoitusalueella B esiintyi kaksi pääarakosuuntaa ja muita satunnaisia rakosuuntia, joten RQD-luvuksi arvioitiin 90 (%). Rakosuuntien lukumäärätekijäksi (J_n) saatiin kuusi. Rakopintojen karkeusluku (J_r) arvioitiin rakopintojen karheuksien mukaan, joten sen arvoksi saatiin kaksi. Rakopintojen muuttuneisuusluku (J_a) arvioitiin täytemateriaalien perusteella kahdeksi, koska liuskeisuuden suuntaisessa rakoilussa ei esiintynyt savimineraaleja. Rakojen vedenläpäisevyysluku (J_w) ja jännitystilaluku saivat molemmat arvoksi yksi. Q-luvuksi saatiin 15, joten kallio oli laadultaan hyvää. Kaavassa 6 on havainnollistettu Q-luvun laskeminen.

$$Q = \frac{90}{6} \times \frac{2}{2} \times \frac{1}{1} = 15 \quad (6)$$

Näsinkallion eteläisessä ajoneuvotunnelissa kartoitusalueella C esiintyi kolme pääarakosuuntaa ja muita satunnaisia rakosuuntia, joten RQD-luvuksi saatiin 90 (%). J_n -luku on myös tällöin 12. Liuskeisuuden suuntaisen rakopinnan karheus oli pienessä mittakaavassa sileää, keskimääräisessä mittakaavassa aaltoilevaa ja suuressa mittakaavassa aaltomaista, joten sen J_r -arvoksi saatiin kaksi. J_a -luvuksi arvioitiin kolme, koska liuskeisuuden suuntaisessa raossa esiintyi pieniä määriä savea. J_w - ja SRF-luvut saivat arvon yksi. Q-luvuksi saatiin viisi eli kallio oli laadultaan kohtalaista. Kaavassa 7 on esitetty, miten Q-luku laskettiin.

$$Q = \frac{90}{12} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{1} = 5 \quad (7)$$

Naistenlahden pohjoisessa ajoneuvotunnelissa kartoitusalueella E esiintyi kaksi pääarakosuuntaa ja satunnaista rakoilua, joten RQD-luvuksi saatiin 80 (%). J_n -luku on myös tällöin kuusi. Liuskeisuuden suuntaisen pääarakosuunnan rakopinnan karheus oli sileää (mm), aaltoilevaa (cm) ja aaltomaista (m), joten J_r -luvuksi arvioitiin kaksi. Liuskeisuuden suuntaisessa rakopinnassa esiintyi täytemateriaaleina kvartsia ja kiisuja, joten J_a -luku on tällöin kaksi. J_w - ja SRF-luvuksi saatiin yksi. Näiden parametrien pohjalta Q-luvuksi saatiin 13,33 eli kallio oli laadultaan hyvää. Kaavassa 8 on havainnollistettu Q-luvun laskeminen.

$$Q = \frac{80}{6} \times \frac{2}{2} \times \frac{1}{1} = 13,33 \quad (8)$$

Näsinkallion kuilussa kartoitusalueella D esiintyi kolme pääarakosuuntaa ja useampi muu satunnainen rakosuunta, joten RQD-luvuksi arvioitiin 80 (%). J_n -arvo on tällöin 12.

Liuskeisuuden suuntaisen rakopinnan karheus oli sileää (mm), aaltoilevaa (cm) ja aaltomaista (m), joten J_r -luvuksi saatiin kaksi. Täytemateriaaleina kyseissä raossa esiintyi biotiittia ja kloriittia, joten J_a -arvo on kaksi. J_w - ja SRF-luvuiksi saatiin yksi. Q-luku on näiden parametrien pohjalta 6,66 eli kalliolaatu oli kohtalaista. Kaavassa 9 on esitetty, miten Q-luku laskettiin.

$$Q = \frac{80}{12} \times \frac{2}{2} \times \frac{1}{1} = 6,66 \quad (9)$$

7. KARTOITUSTULOSTEN TARKASTELU

7.1 ISO-luokituksen vertailu RG-luokitukseen

7.1.1 Kivilaatu

Sekä RG-luokitus että ISO-luokitus ovat molemmat kalliota kuvailevia menetelmiä, jotka eivät anna mitattavaa tulosta kallion laadusta. Molemmissa luokitusmenetelmissä laaditaan raportti, jossa kalliolaatu kuvaillaan luokitusten mukaisesti. Napari (2012) on kandidaatintyössään käsittelyt kallion luokitusta ISO-luokituksen mukaisesti. Hänen esittämät tulokset tukevat tässä kappaleessa käsiteltyjä tulosten tarkasteluja, jotka koskevat ISO-luokituksen soveltuvuutta Suomen kallioperä olosuhteisiin ja sen eroja RG-luokitukseen.

ISO-luokitus käsittää kolme osa-aluetta: kallion tunnistaminen, kalliomateriaalin eli kiviaineksen kuvaus ja kalliomassan kuvaus, joka pitää sisällään epäjatkuvuuksien tarkastelun. RG-luokituksessa jaottelu on samankaltainen kuin ISO-luokituksessa. RG-luokituksessa kalliolaatua arvioidaan kuvailemalla kivilaataa ja kallion rakoilua. ISO-luokituksessa tärkeintä ei ole nimetä kivilajia täsmällisesti oikein, vaan luokitella se ryhmään, jotka käyttäytyvät rakennusteknisessä mielessä yleensä samalla tavalla (esimerkiksi liuskekivet) (SFS-EN ISO 14689-1). RG-luokituksessa, kivilajin nimeämiselle ei ole kehitetty nimeämistä helpottavaa taulukkoa, vaan kivilajin tunnistaminen perustuu luokittajan omaan asiantuntemukseen.

ISO-luokituksessa kalliomateriaalin kuvauksessa määritetään vallitsevan kivilajin väri, jolla ei rakennusteknisessä mielessä ole kovin suurta painoarvoa. Kivilajin värin määrittäminen voi kuitenkin toimia apuna kivilajia määrittäessä, mutta siihen ei saisi luottaa liikaa. RG-luokitus ei ota kantaa kivilajin värin määrittämiseen.

ISO-luokituksessa tulee määrittää kalliomateriaalin päämineraalien sekä perusmassan raekoot, joiden rajat poikkeavat RQ-luokituksen raekokorajoista. RG-luokituksessa raekokorajat ovat huomattavasti helpommin määritettävissä silmämääräisesti, koska alle millimetrin raekokoja ei tarvitse määrittää.

ISO-luokituksessa rapautuneisuuden aste määritetään sekä kalliomateriaalille että kalliomassalle erikseen niille tarkoitettuja taulukoita apuna käyttäen. RG-luokituksessa rapautuneisuus määritetään ainoastaan kivilaadulle, joka helpottaa ja selkeyttää luokitusta. ISO-luokituksessa, etenkin kalliomassan rapautuneisuuden kuvailuun käytettäviä luokkia on liian monta, joten on todennäköisempää, että arviot kalliomassan rapautuneisuudesta voivat vaihdella enemmän eri kartoittajien välillä.

ISO-luokituksessa kalliomateriaalin kuvaus pitää lisäksi sisällään karbonaattipitoisuuden ja kalliomateriaalin sään- ja vedenkestävyyden arvioinnin. RG-luokitus ei ota kantaa kyseisiin ominaisuuksiin. Karbonaattipitoisuuden määrittäminen suolahapon avulla on nopea toimenpide ja se voidaan halutessa jättää huomiotta, jos siitä ei koeta saavan rakennusteknistä hyötyä. Vedenkestävyyden määrittäminen on suhteellisen hidas toimenpide, koska se vaatii vähintään vuorokauden mittaisen ajanjakson kiven vesisäilyttämistä ja kuivausta varten. Hyvin lujalle ja huonosti veteen liukenevalle kiviainekselle vedenkestävyyden määrittäminen ei ole hyödyllistä, mutta esimerkiksi kalsiittipitoiselle kiviainekselle vedenkestävyyden määrittäminen on suositeltavaa. Kalliomateriaalin sään- ja vedenkestävyyttä arvioidaan sääle alttiista kalliopaljastumasta mutta esimerkiksi tunnelirakentamisessa tätä ei yleensä koeta oleelliseksi.

RG-luokituksessa määritetään mineraalikoostumuksen perusteella kivilaadun kovuus ja sitkeys: pehmeä (p), hauras (h), sitkeä (s) ja kova (k) (Korhonen et al. 1974). ISO-luokituksessa arvioidaan kalliomateriaalin yksiakσιαalista puristuslujuutta joko käyttämällä geologivasaraa tai suorittamalla kuormituskoe laboratoriossa (SFS-EN ISO 14689-1). Sekä RG-luokituksen että ISO-luokituksen menetelmät ovat helppoja suorittaa maastossa, mutta yksiakσιαalinen puristuslujuus kertoo kuitenkin enemmän kiven lujuudesta kuin yllä mainitut RG-luokituksen termit. Kiviainekselle mitattu

puristuslujuus toimii apuna kalliotilojen mitoituksessa. ISO-luokituksen mukaisen puristuslujuustaulukon heikkoutena on sen skaala, joka on tehty koko Euroopan alueelle, missä kivilajien lujuudet vaihtelevat suuresti. Suomen kallioperä koostuu pääosin graniiteista ja erilaisista seoskivistä (migmatiiteista) (Korsman ja Koistinen 1998), joiden yksiaksiaalinen puristuslujuus on yleensä 100-250 MPa eli hyvin lujaa (Mishra ja Basu 2013). Puristuslujuustaulukon mukaan luja kallio on 50-100 MPa, joka skandinaavisissa kivissä olisi jo normaalia heikompaa. Toisaalta koko Euroopan alueelle suunniteltu skaala helpottaa tulosten vertailua eri maiden asiantuntijoiden tekemien havaintojen välillä.

Kumpikin luokitus ottaa kantaa kalliossa esiintyviin makrorakenteisiin ja mahdolliseen suuntautuneisuuteen. RG-luokituksessa kivilajin osasten järjestäytyneisyyttä kuvaillaan kolmen termin, massamainen (M), liuskeinen (L) ja seoksinen (S), avulla ja niihin lisätään numerotunnus rakotiheyden perusteella (Korhonen et al. 1974). ISO-luokituksessa makrorakennetta kuvaillaan sanallisesti kuvailuun tarkoitetun taulukon avulla, jossa esimerkkitermejä on 17 (esimerkiksi massamainen, liuskeinen, poimuttunut) (SFS-EN ISO 14689-1). RG-luokituksen tapa on loogisempi ja selkeämpi toteuttaa. RG-luokituksen tapa jakaa liuskeisuusaste eri luokkiin on informatiivisempaa kuin kuvailla kalliomassaa ISO-luokituksen mukaisesti pelkästään liuskettuneeksi, joka ei ota kantaa liuskeisuuden voimakkuuteen. Tällä on merkitystä etenkin kalliorakentamisessa.

7.1.2 Epäjatkuvuudet

ISO-luokitus tarkastelee kalliomassan epäjatkuvuuksia huomattavasti tarkemmin kuin RG-luokitus. RG-luokituksessa epäjatkuvuuksien kuvailu jaetaan kolmeen ryhmään: rakoilutyyppeihin, rakotiheyden kuvailuun ja raon laadun määrittämiseen (Korhonen et al. 1974). Sen sijaan ISO-luokitus kuvailee epäjatkuvuuksia useassa eri osassa ja joissain tapauksissa myös eri mittakaavoissa.

RG-luokituksessa rakoilutyyppejä on neljä (kuutio-, laatta-, kiila- ja sekarakoilu), kun taas ISO-luokituksessa vaihtoehtoja on kuusi, mikä lisää vaihtelevuutta eri asiantuntijoiden tekemien kartoitusten välillä. Lisäksi ISO-luokituksen mukainen kiilarakoilu poikkeaa hieman RG-luokituksen mukaisesta kiilarakoilusta. ISO-luokituksen mukaan kiilarakoilu vaatii vähintään kolme vallitsevaa vinoa epäjatkuvuussarjaa, kun taas RG-luokituksessa niitä tulisi olla vähintään kaksi. Osa ISO-

luokituksen mukaisista rakoilutyypeistä, kuten vinokaiteen muotoiset lohkot ja pylväsmäiset lohkot, on kenttäolosuhteissa yleensä liian vaikea erottaa omana rakoilutyyppinä.

ISO-luokituksessa käytetään kuutta eri termiä kuvailemaan epäjatkuvuuksien keskinäistä välimatkaa kun taas RG-luokituksessa rakotiheyden määrittämiseen käytetään neljää eri termiä sekä niiden tunnuksia. Lisäksi jokaiselle neljälle termille on määritetty rakoluku (kpl/m) ja lohkon koko (m³), jotka helpottavat rakotiheyden määrittämistä (Korhonen et al. 1974). Korhosen et al. (1974) mukaan lohkon koko saattaa olla haastava määrittää, mutta koon tietäminen on kuitenkin informatiivisempaa kuin rakoluvun määrittäminen. ISO-luokituksessa kalliolohkojen koko määritetään lohkojen sivujen keskimääräisten pituuksien mukaan. Lisäksi kerroksellisten kivien, kuten sedimenttikivien, kuvailuun ISO-luokitus on määrittänyt termit ja kerroksien välit (mm), jotka kuvailevat kerrospaksuuksia (SFS-EN ISO 14689-1). RG-luokituksen tapa kuvailla rakotiheyttä on kuvailevampaa ja helpommin toteutettavissa kuin ISO-luokituksessa. Esimerkiksi jos käytetään termiä ”runsasrakoinen” kuvailemaan kallion rakotiheyttä, se kertoo lukijalle huomattavasti enemmän kuin jos käytetään termiä ”hyvin pieni” kuvailemaan epäjatkuvuuksien keskinäistä välimatkaa.

ISO-luokitus kuvailee avauman leveyttä kahdeksan eri termin avulla, kun taas RG-luokituksessa avauman leveyttä kuvaillaan vain kolmen termin (tiivis, avoin ja täytteen) avulla. ISO-luokituksessa avaumien leveyden määrittämiseen tarvitaan tarkkoja apuvälineitä, kuten rakotulkkia, jonka tarkkuus on 0,05-1 mm. Tarkka mittaaminen hidastaa ja vaikeuttaa arviointia. RG-luokituksen etuna on se, että raon laatu pystytään nopeasti määrittämään yksiselitteisten termien avulla. Lisäksi RG-luokitus jaottelee täytteiset raot kolmeen eri osaan (haarniskarako, savirako ja mururako), joiden nimityksen riippuvat täytemineraaleista ja niiden karheuksista (Korhonen et al. 1974). Termit ovat selkeitä ja helposti hyödynnettävissä. ISO-luokituksessa rakotäytteitä kuvaillaan sanallisesti, esim. maa-aines, kalsiitti ja savi. Täytteiden kuvaamisessa ei oteta kantaa niiden karheuksiin. Myös täyteen paisumismahdollisuus ja leikkauslujuus tulee kuvata, jos se on merkityksellistä (SFS-EN ISO 14689-1).

Sekä ISO- että RG-luokitus määrittävät epäjatkuvuustasojen kaadesuunnat ja -kulmat. Lisäksi ISO-luokituksessa tarkastellaan rakopintojen karheutta kolmessa eri mittakaavassa ja vedenläpäisevyyttä. Myös RG-luokituksessa pääarakosuuntien ja kivilajien suuntaus on ilmoitettava kun se on todettavissa (Korhonen et al. 1974).

Rakopinnan karheuden määrittäminen kolmessa eri mittakaavassa (mm, cm, m) on rakennusteknisessä mielessä hyödyllistä mutta aikaa vievää. Myös Q-luku kuvailee pinnan karheutta J_r -luvun avulla. ISO-luokituksessa pintojen karheus jaetaan kuuteen eri ryhmään, jotka ovat selkeitä ja antavat tarkan kuvan tutkittavasta kohteesta. ISO-luokituksessa ei ole kuitenkaan erikseen ryhmitelty ja kuvailtu haarniskarakoa, jota pitkin kalliolohko voi helposti liukua, vaan kyseistä termiä tulee käyttää vain, jos on selvää näyttöä hiertoliikkeestä rakopintaa pitkin (SFS-EN ISO 14689–1). RG-luokituksessa haarniskarako-termiä käytetään, jos rakopintaa peittää liukas, uurteiseksi tai sileäksi hioutunut mineraalikerros (usein kloriittia) (Korhonen et al. 1974). Raon karheus vaikuttaa merkittävästi kalliolohkojen välisiin kitkaominaisuuksiin. Esimerkiksi porrasmaisen karhean rakopinnan leikkauslujuus on selvästi suurempi kuin tasomaisella sileällä rakopinnalla. RG-luokitus ei ota kantaa rakopintojen karheuteen, ainoastaan rakopintojen muotoon (tasomainen, kaareva jne.) (Korhonen et al. 1974), mikä ei kuvaa riittävästi rakoprofiilin kitkaominaisuuksia.

SFS-EN ISO 14689-1 standardin mukaan vedenläpäisevyyttä arvioidaan kalliopinnasta silmämääräisesti ja kuvaillaan käyttäen asiaan kuuluvia termejä, kuten ”kosteutta kallion pinnalla” ja ”tihkuvaa vettä”. Virtausmäärää voidaan myös mitata, jolloin käytetään termejä: pieni (0,05-0,5 l/s), kohtalainen (0,5-5 l/s) ja suuri (> 5 l/s). Lisäksi ISO-luokituksessa arvioidaan kalliomassan vedenläpäisevyys siihen soveltuvilla testeillä, kuten vesimenekkitestillä. RG-luokituksessa rakennuskohteen kalliokuvauksessa tulee mainita pinta- ja pohjavesiesiintymän ja lisäksi kairauksen yhteydessä tehtävät vesimenekkitestit. Lisäksi kalliotiloissa esiintyvät vuotovedet on ilmoitettava (Gardemeister et al. 1976). Louhittuun tilaan kertyvä vesi hidastaa louhintatyön edistymistä ja etenkin edesauttaa korroosion syntymistä rakenteissa. Lisäksi vesivuodot heikentävät rakojen kitkaominaisuuksia.

Sekä ISO-luokituksessa että RG-luokituksessa tulee määrittää epäjatkuvuuksien ulottuvuus eli rakojen pituus, jos se on mahdollista. ISO-luokituksessa ei ole määritetty erikseen rikkonaisen ja löyhän kallion rakenteita, kuten RG-luokituksessa. RG-luokituksessa rikkonainen kallio jaetaan viiteen eri osaan (halkeamarakenteinen, rakorakenteinen, murrosrakenteinen, ruhjerakenteinen ja savirakenteinen) rakomäärien ja täytteiden perusteella ja jokaiselle ryhmälle on myös oma terminsä (esim. halkeamarakenteisesta kalliosta käytetään termiä Ri I, rakorakenteisesta kalliosta Ri II jne.). Löyhä kallio jaetaan löyhärakenteiseen ja raparakenteiseen kallioon rakomäärän

sekä rapautumisasteen perusteella (Korhonen et al. 1974). RG-luokituksen tapa luokitella kalliota kiinteään, löyhään ja rikkonaiseen on huomattavasti kuvailevampi ja informatiivisempi tapa kuin ISO-luokituksessa, joka ei jaottele kalliota rikkonaisuuden perusteella eri osiin. Mikään ei kuitenkaan estä ISO-luokituksessa kuvailemasta tarkemmin kalliota ja sen mahdollisia rikkonaisuusvyöhykkeitä.

ISO-luokitus ei erikseen ota kantaa kalliossa mahdollisesti vaikuttaviin heikkousvyöhykkeisiin. ISO-luokituksessa kuitenkin ohjeistetaan kuvailemaan suuret tai tärkeät epäjatkuvuudet erikseen, jos se koetaan aiheelliseksi (SFS-EN ISO 14689-1). RG-luokituksessa heikkousvyöhykkeistä kuvaillaan niiden ulottuvuus, liittyminen kallion tektonisiin piirteisiin (esim. kivilaatujen rajavyöhykkeet), aines (esim. kivilaadut ja rapautuneisuus) ja veden virtaus heikkousvyöhykkeissä. Lisäksi on pyrittävä selvittämään heikkousvyöhykkeen rakennustekninen merkitys (Korhonen et al. 1974).

7.2 ISO-luokituksesta johdettujen Q-lukujen vertailu tunnelin rutiinikartoituksen yhteydessä suoritettuun Q-luokitukseen

ISO-luokituksen yhteydessä suoritettiin myös Q-luokitus, jossa kaksi Q-parametria (rakopinnan karheus ja täytemateriaalit) johdettiin ISO-luokituksen mukaisista parametreista. Tällöin saatu tulos saattoi hieman poiketa RG-luokituksen yhteydessä suoritetusta Q-luokituksesta. Kahdessa ISO-luokituksen mukaisesti tehdyssä kartoituskohteessa (kartoitusalueet B ja D) Q-lukuarvot poikkesivat hieman RG-luokituksen yhteydessä tehdyistä Q-luokituksen tuloksista. Syyt poikkeaviin arvioihin johtuvat osittain eri kartoittajien näkemyseroista esimerkiksi RQD-luvun määrittämisessä ja vaihtelevista arvoista J_r - ja J_a -luvuissa. ISO-luokituksen parametreista johdettujen J_r - ja J_a -arvojen luvut määritettiin jokaisessa kartoituskohteessa aina epäedullisimmasta pääarakosuunnasta eli yleensä tunnelin suuntaan kulkevasta liuskeisuuden kanssa samansuuntaisesta rakosuunnasta. RG-luokituksen yhteydessä jokaisella pääarakosuunnalla määritettiin erikseen J_r - ja J_a -arvot, ja Q-luokituksessa käytettiin sen pääarakosuunnan J_r - ja J_a -arvoja, joka yleensä edustaa huonointa rakosuuntaa (ei kuitenkaan välttämättä aina liuskeisuuden suuntainen). Näkemykset epäedullisimmasta rakosuunnasta saattavat vaihdella eri kartoittajien välillä, joka voi aiheuttaa vaihtelua tuloksiin.

Rakopintojen karheuksien perusteella johdettujen J_r -arvojen määrittäminen oli tietyissä kartoituskohteissa haastavaa, koska jokaisesta mittakaavasta ei turvallisuussyistä johtuen saatu määritettyä rakopinnan karheutta. Tällöin J_r -arvo arvioitiin ainoastaan suuren mittakaavan karheuden mukaan, jolloin saatu tulos ei välttämättä edusta totuuden mukaista tilannetta.

Näsinkallion eteläisen ajoneuvotunnelin kartoitusalueen B Q-luvuksi saatiin 15 ja RG-luokituksen yhteydessä suoritettussa Q-luokituksessa tulokseksi saatiin 10,56. Molemmat arvot edustavat hyvää kalliolaatua. Tulosten välinen ero johtuu erilaisesta arviosta RQD-luvussa, J_r - ja J_a -arvoissa. ISO-luokituksen yhteydessä suoritettussa Q-luokituksessa RQD-luvuksi saatiin 90 (%), J_r - ja J_a -arvoiksi määritettiin kaksi. RG-luokituksen yhteydessä Q-luvuksi saatiin 95 (%), J_r :n arvoksi kaksi ja J_a :n arvoksi kolme.

Näsinkallion kuilun kartoituksessa kartoitusalueella D Q-luvuksi saatiin 6,66 ja RG-luokituksen yhteydessä suoritettussa Q-luokituksessa tulokseksi saatiin 4,44. Erot tuloksissa johtuvat eriävistä J_r - ja J_a -arvoista. ISO-luokituksen yhteydessä suoritettussa Q-luokituksessa J_r - ja J_a -arvoiksi määritettiin kaksi. RG-luokituksen yhteydessä suoritettussa Q-luokituksessa J_r -arvo arvioitiin kahdeksi ja J_a kolmeksi. Muuten Q-parametrit olivat molemmissa Q-luokituksissa täysin samat. Taulukossa 6 on esitetty ISO-, RG- ja Q-luokitusten välisiä eroja ja yhtäläisyyksiä.

Taulukko 6. ISO-, RG- ja Q-luokitusten vertailutaulukko. Vihreällä on merkattu parametreja, jotka luokitus ottaa huomioon ja punaisella niitä parametreja, joita luokitus ei ota huomioon.

Parametrit	ISO-luokitus	RG-luokitus	Q-luokitus
Luokitustyyppi	kuvaileva	kuvaileva	Numeerinen
Värin määrittäminen	Määritetään	Ei määritetä	Ei määritetä
Raekokorajat (mm)	Hyvin hienorakeinen <0,002 Hienorakeinen 0,002-0,063 Keskirakeinen 0,063-2 Karkearakeinen 2-63 Hyvin karkearakeinen >63	Hienorakeinen <1 Keskirakeinen 1-5 Karkearakeinen 5-50 Suurirakeinen >50	Ei määritetä
Rapautuneisuus	Kalliomateriaalille ja kalliomassalle	Kivilaadulle	Ei määritetä
Karbonaattipitoisuus	Määritetään	Ei määritetä	Ei määritetä
Kalliomateriaalin vedenkestävyys/ kalliomassan vedenläpäisevyys	Määritetään (1 vrk vesisäilytys, vesivuodot, testit)	Määritetään (vesihavainnot kalliotiloissa)	Rakojen vedenläpäisevyysluku (J_w)
Kivilaadun kovuus	Puristuslujuustesti	Kuvaillaan termien avulla	Ei määritetä
Makrorakenteen kuvaus	Kuvailevat termit	Kuvailevat termit ja numerotunnukset	Ei määritetä
Rakoilutypit	6 kpl	4 kpl	Ei määritetä
Kerrospaksuudet	Määritetään	Ei määritetä	Ei määritetä
Kallioloikkojen koko	Määritetään (loikkojen sivujen keskim. pituudet)	Määritetään (m^3)	Ei määritetä
Rakotihyönteiden kuvaus	Epäjatkuvuuksien välimatkan kuvaus	Rakotihyönteiden kuvaus (kpl/m)	RQD-luku
Rakopintojen karheuksien kuvailu	Kolmessa mittakaavassa	Ei määritetä	Rakopintojen karkeusluku (J_r)
Rakopintojen muuttuneisuus/ täytemateriaalit	Määritetään (kuvaillaan sanallisesti)	Määritetään (täytteiset raot jaettu kolmeen tyyppiin)	Rakopintojen muuttuneisuusluku (J_a)
Rakoavauma	Avauman kuvaus	Jaettu kolmeen tyyppiin (tiivis, avoin ja täytteen)	Ei määritetä
Heikkous-/Rikkonaisuus vyöhykkeiden kuvaus	Määritetään (kalliolaadun kuvaus heikkousvyöhykkeille erikseen)	Määritetään (mm. ulottuvuudet, aines ja vesi, viisi luokkaa rikkonaisuusvyöhykkeille)	Määritetään
Rakenteiden kaateen suunnan/ kaateen määrittäminen	Määritetään (epäjatkuvuuksille)	Määritetään (kivilaadun suuntaus ja rakoilu)	Ei määritetä
Epäjatkuvuuksien ulottuvuus	Määritetään	Määritetään	Ei määritetä
Rakoilun määrä	Määritetään	Määritetään	Rakosuuntien lukumäärätekijä (J_n)

7.3 ISO-luokituksen soveltuvuus Rantatunneliin

ISO-luokitus soveltui pääosin hyvin Rantatunneliin. Se ottaa tarpeeksi hyvin kantaa rakennusteknisiin ominaisuuksiin, kuten kalliomateriaalin puristuslujuuteen ja kalliomassassa mahdollisesti esiintyviin vesivuotoihin. Osa määritettävistä termeistä, kuten väri, karbonaattipitoisuus ja kalliomateriaalin kestävyys säälle altistuneena, eivät ole yleensä merkittäviä tekijöitä kalliorakentamisessa. Värin määrittäminen toimii apuna kivilajin määrittämisessä. Laimealla suolahapolla testattiin karbonaattipitoisten mineraalien esiintymistä kalliotiloissa, mutta testaus oli suhteellisen turha toimenpide, koska karbonaattia ei esiintynyt. Kallio koostui suurimmaksi osaksi kiillegneissistä, granodioriitista ja niitä leikkaavista pegmatiittijuonista, joissa ei esiinny karbonaattipitoisia mineraaleja.

Rantatunnelin alueella esiintyvän kiilleliuskeen ja kiillegneissin liuskeisuusasteet vaihtelevat alueittain. ISO-luokituksessa ei oteta kantaa liuskeisuusasteeseen, jolla tarkoitetaan kivilaadun suuntautuneisuuden voimakkuutta (Korhonen et al. 1974). Voimakas liuskeisuusaste heikentää kallion lujuutta.

Rapautuneisuuden määrittäminen sekä kalliomateriaalille (kiviaines) ja kalliomassalle (epäjatkuvuudet) erikseen on kalliorakentamisessa tarpeetonta. RG-luokituksen tapaan olisi riittävää, jos rapautuneisuusaste määritettäisiin ainoastaan koko kiviainekselle. Kerrospaksuuksia ei Rantatunnelin tapauksessa määritetty, koska alueella ei esiintynyt kerroksellisia kivilajeja, kuten sedimenttikiviä. Kalliolohkojen kokojen määrittäminen oli Rantatunnelin tapauksessa yksi hankalimmista tehtävistä. Kalliolohkojen kokojen määrittämiseen tarvitaan lohkojen sivujen keskimääräiset mitat, mutta vain osa kalliolohkosta voidaan nähdä, jolloin tulos voi olla virheellinen.

Rakopintojen karheuden arviointi oli joissain luokituskohteissa turvallisuussyistä johtuen kielletty. Pienen ja keskimääräisen mittakaavan karheudet tulee tarkastella profiilikamman avulla suoraan kallion seinämästä, jota ei välttämättä aina voida tehdä lujittamattomassa tilassa. Kartoituskohteissa, joissa kalliotila oli lujitettu, pystyttiin rakopintojen karheudet arvioimaan jokaisessa kolmessa eri mittakaavassa. Rakopintojen karheuden arviointi oli hyvin aikaa vievää mutta toisaalta rakojen kitkaominaisuuksista saatiin tärkeää tietoa, mitä RG-luokitus ei anna.

ISO-luokitus käyttää rakojen avauman leveyden kuvaamiseen kahdeksaa eri termiä, jotka vaihtelevat alle 0,1 millimetristä yli metriin. Alle senttimetrin levyisten avaumien mittaamiseen tarvitaan tarkkaa mittaa, kuten rakotulkkia. Rantatunnelin kohdalla avaumia ei esiintynyt vaan osa raoista oli täytteisiä tai täysin tiiviitä. RG-luokituksen tapaan, rakojen laatua tulisi kuvailla termien ”tiivis”, ”avoin” ja täytteenen” avulla. ISO-luokituksen mukainen avaumien leveyden määrittäminen ei ole tarpeeksi monipuolinen tapa rakojen laadun kuvailuun. Avaumien kuvaukseen käytettäviä luokkia tulisi osittain yhdistää, jolloin mittaus nopeutuisi ja luokitustulos olisi luotettavampi.

8. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

ISO-luokitus on kehitetty koko Euroopassa sovellettavaksi, mikä lisää vertailukelpoisuutta eri maiden asiantuntijoiden tekemien luokitusten välillä. ISO-luokituksessa kalliosta laaditaan kuvaileva loppuraportti, mutta määrällistä tulosta ei saada niin kuin Q-luokituksessa. ISO-luokituksen tapaan myös RG-luokituksessa saadaan tutkimuskohdetta kuvaileva raportti. ISO-luokitus ottaa kuitenkin RG-luokitusta enemmän kantaa rakennusteknisiin ominaisuuksiin, kuten kiven puristuslujuuteen, kalliomassassa mahdollisesti esiintyviin vesivuotoihin ja rakoprofiilien karheuteen. Toisaalta esimerkiksi kiven puristuslujuuden määrittämisessä käytettävät luokat eivät täysin sovellu Suomen kallioperän olosuhteisiin, koska osa arvioitavista ominaisuuksista on esitetty liian laajassa skaalassa. Euroopan kallioperäolosuhteet ovat hyvin vaihtelevat, joten koko Euroopan aluetta koskevaa skaalaa on vaikea luoda. RG-luokitus on kehitetty nimenomaan Suomen kallioperän olosuhteille. RG-luokitus on nopeampi suorittaa ja se ottaa huomioon ISO-luokituksesta poiketen mm. rikkonaisuus- ja heikkousvyöhykkeet ja liuskeisuuden eri asteet, jotka vaikuttavat kallion lujuuteen. Kallion geologiset ominaisuudet saadaan kuitenkin kuvattua ISO-luokituksella kattavammin ja tutkimuskohteesta saadaan luotua monipuolisempi raportti kuin RG-luokitusta käytettäessä.

ISO-luokituksen mukaisista parametreista (rakoprofiilin karheus ja täytemateriaalit) on mahdollista johtaa Q-luokituksessa käytettäviä parametreja (J_r ja J_a). Rakoprofiilien määrittäminen pienessä ja keskimääräisessä mittakaavassa ei aina turvallisuussyistä johtuen ollut mahdollista, joten tiedot rakoprofiilien karheuksista eivät välttämättä edusta

totuudenmukaista tilannetta, mikä saattaa vaikuttaa J_r -luvun määrittämiseen. ISO-luokituksessa tulee määrittää epäjatkuvuuksien yhteydessä esiintyvät mahdolliset täytemateriaalit. Tarkkojen täytemateriaalikuvausten pohjalta on mahdollista johtaa Q-luokituksessa käytettävä J_a -luku.

Tampereen Rantatunnelin tapauksessa ISO-luokituksen suorittamisessa suurimmat vaikeudet olivat kalliolohkojen kokojen ja rakopintojen karheuksien määrittämisessä. Kalliolohkojen kokojen suuruutta oli vaikea arvioida yhden tunnelikatkon perusteella, joten arviot kalliolohkojen mittasuhteista ovat tulkinnan varaisia. ISO-luokituksen suorittaminen on suhteellisen hidas toteuttaa, joten sen yhdistäminen Rantatunnelin tiukkaan työaikatauluun toi lisähaasteita kartoitukseen.

ISO-luokituksen hyödyntäminen Suomen kallioperän olosuhteissa vaatisi, että esimerkiksi raekokorajojen, rakoavaumien ja rakoilutyypin kuvauksissa käytettäviä parametreja ja luokkia joko osittain muutetaan tai yhdistetään keskenään. Raekokojen rajoja tulisi osittain muuttaa vastaamaan RG-luokituksen raekokorajoja, jotka soveltuvat hyvin Suomen kallioperään. Rakoavaumien kuvauksessa käytettäviä yksiköitä tulisi yhdistää keskenään, jotta kuvaus olisi helpompi ja nopeampi suorittaa. Informatiivisuuden parantamiseksi makrorakenteiden kuvauksessa käytettäviin termeihin (esim. liuskeinen) olisi hyvä lisätä tunnuksia, jotka kuvailisivat liuskeisuuden voimakkuutta.

ISO-luokituksen tulisi RG-luokituksen tapaan ottaa huomioon erilaiset rikkonaisuus- ja heikkousvyöhykkeet, joilla on suuri merkitys kalliorakentamisessa. Kalliomassan rapautuneisuutta kuvaavia termejä tulisi osittain yhdistää keskenään, jotta luokitus olisi nopeampi suorittaa ja tulos olisi myös luotettavampi. Kalliomassan rakenteiden ja kalliolohkojen kokojen kuvaamiseen kehitettyjä termejä (rakoilutyypit) tulisi ainakin osittain yhdistää keskenään, esimerkiksi kiilamaiset lohkot voisi käsittää myös vinokaiteen muotoiset lohkot, jotka on ISO-luokituksessa luokiteltu omaksi ryhmäksi. ISO-luokitukseen ehdotetut muutokset ovat kuitenkin riippuvaisia käyttötarkoituksesta ja halutusta luokitustarkkuudesta, joten edellä esitetyt korjausehdotukset eivät välttämättä sovellu kaikkiin luokitustarpeisiin.

9. KIITOKSET

Haluaisin kiittää Saanio & Riekkola Oy:ta, erityisesti Kalle Hollménia, mielenkiintoisesta graduaiheesta. Ilman asiantuntevia ohjaajiani Kari Äikästä ja Mikko Nikkilää sekä professori Tapani Rämöä en olisi päässyt hyvään lopputulokseen, joten lämmin kiitos kuuluu myös heille. Kollegani Max Pihlström ansaitsee myös kiitokset kannustaessaan työn eri vaiheissa. Työskentely Saanio & Riekkola:n hienossa tiimissä on auttanut minua varmistumaan tulevaisuuden suunnitelmistani. Haluan jatkossakin työskennellä kalliorakennuspuolella. Iso kiitos kuuluu myös vanhemmilleni, koska he ovat aina tukeneet minua valinnoissani. Nyt on yksi etappi saavutettu ja vielä on monia edessä.

10. LÄHDELUETTELO

- Barton, N., Lien, R. ja Lunde, J. 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics* 6, 189-236.
- Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering. John Wiley & Sons, Kanada, 257 s.
- Deere, D.U. 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes. *Felsmekanik* 1/1, USA, 1-22.
- Deere, D.U. ja Deere, D.W. 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM STP 984. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 91-101.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D. ja Bell, G. 2005. Geotechnical Engineering of Dams. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 907 s.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G. ja Foster, M. 2015. Geotechnical Engineering of Dams, 2nd Edition. Taylor & Francis Group, Lontoo, 1339 s.
- Gardemeister, R., Johansson, S., Korhonen, P., Patrikainen, P., Tuisku, T. ja Vähäsarja, P. 1976. Rakennusgeologisen kallioluokituksen soveltaminen. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 25, Espoo.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., ja Bawden, W.F. 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. A.A. Balkema, Rotterdam, 215 s.
- Hoek, E. ja Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 34, Kanada, 1165-1186.
- King, H.M. 2005. The "Acid Test" for Carbonate Minerals and Carbonate Rocks. *Geoscience News and Information*. Geology.com. Sivulla vierailtu 19.12.2014.
<http://geology.com/minerals/acid-test.shtml>
- Klein, S. 2001. An Approach to the Classification of Weak Rock for Tunnel Projects. Jacobs Associates, 2014. Sivulla vierailtu 15.12.2014
http://www.jacobssf.com/publications/article_view/155/
- Korhonen, K-H., Gardemeister, R., Jääskeläinen, H., Niini, H. ja Vähäsarja, P. 1974. Rakennusalan kallioluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus 12, Otaniemi, 78.
- Korsman, K. ja Koistinen, T. 1998. Suomen kallioperän yleispiirteet. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T. (toim.) Suomen kallioperä-3000 vuosimiljoonaa. Suomen Geologinen Seura ry., Helsinki, 375 s.
- Kähkönen, Y. 1998. Svekofenniset liuskealueet-merestä peruskallioksi. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T. (toim.) Suomen kallioperä-3000 vuosimiljoonaa. Suomen Geologinen Seura ry., Helsinki, 375 s.
- Kähkönen, Y. 2009. Tampereen alueen kallioperä. Geologian laitos, Helsingin yliopisto. Sivulla vierailtu 18.3.2015.
<http://projects.gtk.fi/TAATA/kartoitus/kalliopera/>
- Liikennevirasto. 2013. Rantatunnelin allianssiurakka. Hankesuunnitelma. Sivulla vierailtu 23.1.2015.
http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/hankkeet/kaynnissa/tampereen_rantavayla#.VUHhM6PyWAY
- LOUHI Ympäristö. 2015. Rantatunnelin Seurantapalvelu. Sivulla vierailtu 19.3.2015.
<http://seuranta.rantatunneli.fi/>
- Løset, F. 1997. Engineering Geology: The Q-method Used in TBM Tunnels, Field Mapping and Core Logging. Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, Norja.
- Mishra, D.A ja Basu, A. 2013. Estimation of uniaxial compressive strength of rock materials by index tests using regression analysis and fuzzy inference system. *Engineering Geology* 160, 54-68.
- Napari, M. 2012. Kallion luokitus rakennusgeologisen kallioluokituksen ja ISO-luokituksen mukaisesti. Kandidaatintyö, Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Espoo, 26 s.

- Nikkilä, M. ja Eroma, E. 2013. Tampereen Rantatunneli allianssin kehitysvaihe (KAS), Geologinen selvitys. Saanio & Riekkola Oy, Helsinki, 31 s.
- Nironen, M. 1989. The Tampere Schist Belt: structural style within an early Proterozoic volcanic arc system in southern Finland. *Precambrian Research* 43, 23–40.
- Norwegian Geotechnical Institute. 2013. Using the Q-system, Rock mass classification and support design. Sivulla vierailtu 8.1.2015.
<http://www.ngi.no/en/Contentboxes-and-structures/Reference-Projects/Reference-projects/Q-system/>
- Ozbek, A., Unsal, M. ja Dikec, A. 2013. Estimating uniaxial compressive strength of rocks using genetic expression programming. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 5, 325-329.
- Palmström, A. 2005. Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). *Tunnels and Underground Space Technology* 20, 362-377.
- Palmström, A. 2006. Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. *Tunnels and Underground Space Technology* 21, 575-593.
- Price, N.J. 1963. The Influence of Geological Factors on the Strength of Coal Measure Rocks. *Geological Magazine* 100, 428-443.
- Riekkola, R., Vähäsarja, P. ja Patrikainen, P. 1987. Kallion luokitus. Teoksessa: Saanio, V. (toim.) Tunneli- ja kalliorakennus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki, 77–112.
- Räisänen, M.L. 1987. Mineraalien rapautumisesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä podsolimaannoksessa. Geologian tutkimuskeskus, Geokemian osasto.
- SFS-EN ISO 14689-1. 2007. Geotekninen tutkimus ja koestus. Kallion tunnistaminen ja luokitus. Osa 1: tunnistaminen ja kuvaus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry., Helsinki.
- Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry. 2013. ISO-maa- ja kallioluokituksen soveltamisohje Suomessa. Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry., Espoo, 41 s.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2014. Eurokoodit, EN-standardit 2014. Rakentamismääräyksistä eurokoodeihin. Siirtyminen eurokoodeihin on alkanut. Sivulla on vierailtu 30.4.2015.
<http://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit>
- Syrjänen, P. 1993. Maanalaisten tilojen kalliomekaanisen suunnittelun perusteet. Opetusmoniste TKK-KAL B10. Teknillinen korkeakoulu, Kalliotekniikan laboratorio, Otaniemi.
- Wegelius, A. ja Viitala, R. 1996. Kallioluokitusmenetelmien käyttö tunnelien lujituksessa. Tiedote 72. Geotekninen osasto, Kiinteistövirasto, Helsinki, 83 s.
- Wegelius, A. ja Holopainen, P. 1997. Paisuvat Kalliosavet. Tiedote 75. Geotekninen osasto, Kiinteistövirasto, Helsinki, 102 s.

LIITE 1. SFS-EN ISO 14689-1 standardissa käytetyt taulukot

Taulukko L1-1. Kalliomateriaalin värin kuvaukseen luotu yksinkertainen värikartta (SFS-EN ISO 14689-1).

Vaaleus Kolmas kuvaaja	Värisävy Toissijainen kuvaaja	Väri Ensisijainen kuvaaja
Vaalea	Vaaleanpunertava	Vaaleanpunainen
Tumma	Punertava	Punainen
	Kellertävä	Keltainen
	Rusehtava	Ruskea
	Vihertävä	Vihreä
	Sinertävä	Sininen
		Valkoinen
	Harmahtava	Harmaa
		Musta

Taulukko L1-2. Termit, joilla kuvataan kalliomateriaalin rapautumista (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Kuvaus
Tuore	Ei näkyviä merkkejä kalliomateriaalin rapautumisesta/muuttumisesta
Väritään muuttunut	Alkuperäisen tuoreen kalliomateriaalin väri on muuttunut ja on todisteita rapautumisesta/muuttumisesta. Alkuperäisen värin muutoksen aste tulee ilmoittaa. Jos värinmuutos rajoittuu tiettyihin mineraaliaineksiin, nämä tulee mainita
Rapautunut	Kalliomateriaali on murtunut fysikaalisen rapautumisen seurauksena siten, että rakeiden välinen sidos on hävinnyt ja kivi on rapautunut/muuttunut muistuttaen maa-ainesta, jossa alkuperäisen materiaalin kutous on yhä ehjä. Kalliomateriaali on haurasta, mutta mineraalirakeet eivät ole hajonneet
Hajonnut	Kalliomateriaali on hajonnut mineraalirakeiden kemiallisen rapautumisen vaikutuksesta maa-ainekseksi, jossa alkuperäisen materiaalin kutous on ehjä. Jotkut tai kaikki mineraalirakeet ovat hajonneet

Taulukko L1-3. Kalliomateriaalin säilyvyys (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Kuvaus
Stabiili	Ei muutoksia
Melko stabiili	Näytteen pinta murenee, löyhtyy
Epästabiili	Näyte hajoaa

Taulukko L1-4. Kalliomateriaalin vedenkestävyyden luokat ja niiden kuvaukset (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Kuvaus (1 vrk vesisäilytyksen jälkeen)	Luokka
Stabiili	Ei muutoksia	1
Melko stabiili	Muutamia hiushalkeamia muodostuu tai koenäytteen pinta murenee hiukan	2
	Useita hiushalkeamia syntyy ja koenäyte murtuu pieniksi kappaleiksi tai sen pinta murenee huomattavasti	3
Epästabiili	Koenäyte hajoaa tai melkein sen koko pinta murenee	4
	Koko koenäyte pehmenee tai hajoaa hiekaksi	5

Taulukko L1-5. Puristuslujuuden tunnistaminen maastossa (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Tunnistaminen maastossa	Yksiaksiaalinen puristuslujuus (MPa)
Erittäin heikkoa	Voidaan naarmuttaa peukalon kynnellä	< 1
Hyvin heikko	Murenee geologivasaralla lujasti iskettäessä, voidaan vuolla veitsellä	1...5
Heikko	Voidaan juuri ja juuri vuolla veitsellä, voidaan tehdä pieniä kuoppia iskettäessä lujasti geologivasaralla	5...25
Kohtalaisen luja	Ei voida naarmuttaa tai vuolla veitsellä, näyte voidaan murtaa yhdellä lujalla geologivasaran iskulla	25...50
Luja	Koenäyte tarvitsee murtuakseen enemmän kuin yhden iskun geologivasaralla	50...100
Hyvin luja	Koenäyte tarvitsee murtuakseen monta iskua geologivasaralla	100...250
Erittäin luja	Koenäytteestä voidaan lohkoa vain siruja geologivasaralla	> 250

Taulukko L1-6. Geologisia termejä, joita voidaan käyttää kalliomassan makrorakenteen kuvauksessa (SFS-EN ISO 14689-1).

Sedimenttikivi	Metamorfinen kivi	Magmakivi
Kerroksellinen	Liuskettunut	Massamainen
Välikerroksellinen	Suuntautunut	Virtausrakenteinen
Ohutkerroksellinen	Liuskeinen	Poimuttunut
Poimuttunut	Raitainen	Venynyt/pilsteinen
Massamainen	Venynyt/pilsteinen	
Kerrallinen	Gneissimäinen	
	Poimuttunut	

Taulukko L1-7. Kerrospaksuutta kuvaavat termit (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Väli (mm)
Hyvin suuri	> 2000
Suuri	2000...600
Keskisuuri	600...200
Pieni	200...60
Hyvin pieni	60...20
Erittäin pieni	20...6
Ohut	< 6

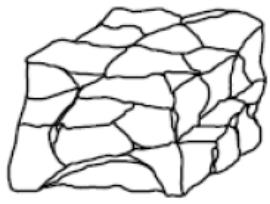
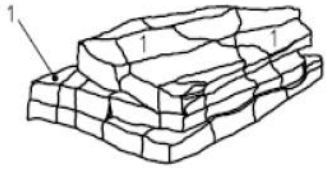
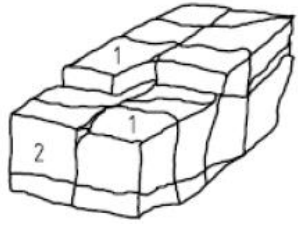
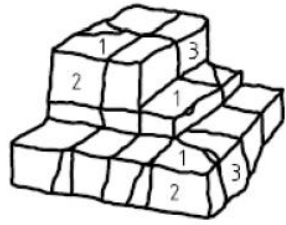
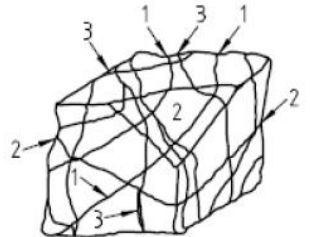
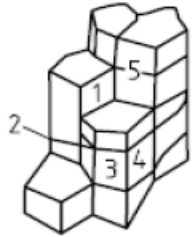
Taulukko L1-8. Epäjatkuvuuksien keskinäistä välimatkaa kuvaavat termit (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Väli (mm)
Hyvin suuri	> 2000
Suuri	2000...600
Keskikokoinen	600...200
Pieni	200...60
Hyvin pieni	60...20
Erittäin pieni	< 20







Taulukko L1-9. Kalliolohkojen kokojen kuvaamiseen käytettävät termit (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Lohkon sivujen keskimääräiset pituudet (mm)
Hyvin suuri	> 2000
Suuri	600...2000
Keskikokoinen	200...600
Pieni	60...200
Hyvin pieni	< 60

Taulukko L1-10. Kalliomassan rakenteita kuvaavat termit (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Kuvaus	Kuva
a) Epäsäännöllisen muotoiset lohkot	Epäsäännöllisiä epäjatkuvuuksia, jotka eivät ole järjestäytyneet selviin ryhmiin. Epäjatkuvuuksilla ei ole jatkuvuutta (sekarakoilu)	
b) Laattamaiset lohkot	Yksi vallitseva ryhmä yhdensuuntaisia epäjatkuvuuksia (1), esimerkiksi kerroksellisuustasoja, sekä muita epäjatkuvuuspintoja. Lohkojen paksuus paljon pienempi kuin pituus tai leveys (laattarakoilu)	
c) Kiilamaiset lohkot	Kaksi vallitsevaa epäjatkuvuusryhmää (1 ja 2), noin suorakulmainen ja yhdensuuntainen ja kolmas epämääräinen ryhmä. Lohkojen paksuus paljon pienempi kuin pituus tai leveys.	
d) Kuutiomaiset/tasamittaiset lohkot	Kolme vallitsevaa epäjatkuvuusryhmää (1, 2 ja 3) suunnilleen kohtisuorassa. Välillä epäsäännöllisiä epäjatkuvuuksia muodostaen tasamittaisia lohkoja (kuutiorakoilu)	
e) Vinokaiteen muotoiset lohkot	Kolme (tai useampia) vallitsevaa vastavuoroisesti vinoja epäjatkuvuussarjoja (1, 2 ja 3), jotka muodostavat muodoltaan vinoja tasamittaisia lohkoja (kiilarakoilu)	
f) Pylväsmäiset lohkot	Useita, yleensä enemmän kuin kolme, sarjaa jatkuvia yhdensuuntaisia epäjatkuvuuksia (1, 2, 3, 4, 5), joita yleensä leikkaa epäsäännölliset raot. Lohkojen pituus on paljon suurempi kuin muut ulottuvuudet (pylväsraakoilu)	

Taulukko L1-11. Epäjatkuvuuksien pintojen karheutta kuvaavat termit (eivät ole mittakaavassa; pysty- ja vaakasuuntaiset mittakaavat ovat yhtä suuret) (SFS-EN ISO 14689-1).

	Karhea (epäsäännöllinen)	Sileä
Portaittainen		
Aaltoileva		
Tasomainen		

Taulukko L1-12. Avauman kuvauksessa käytettävät termit (SFS-EN ISO 14689-1).

Kokoa kuvaava termi	Leveys
Hyvin tiivis	< 0,1 mm
Tiivis	0,1...0,25 mm
Osittain avoin	0,25...0,5 mm
Avoin	0,5...2,5 mm
Melko suuri	2,5...10 mm
Suuri	1...10 cm
Hyvin suuri	10...100 cm
Erittäin suuri	>1 m

Taulukko L1-13. Epäjatkuvuuksista tulevien vesivuotojen määrää kuvailevat termit (SFS-EN ISO 14689-1).

Kuvaava termi	Virtauksen määrä (l/s)
Pieni	0,05...0,5
Kohtalainen	0,5...5
Suuri	>5

Taulukko L1-14. Kalliomassan rapautuneisuusasteikko (SFS-EN ISO 14689-1).

Termi	Kuvaus	Luokat
Rapautumaton	Kalliomateriaalissa ei näkyviä viitteitä rapautumisesta. Ehkä pientä värinmuutosta pääepäjatkuvuuspinnoilla	0
Vähän rapautunut	Värinmuutos osoittaa kalliomateriaalin ja epäjatkuvuuspintojen rapautumista	1
Kohtalaisesti rapautunut	Alle puolet kalliomateriaalista on murentunut tai rapautunut. Tuoretta tai väriltään muuttunutta kalliota on jäljellä jatkuvana runkorakenteena tai ydinosina	2
Runsaasti rapautunut	Yli puolet kalliomateriaalista on murentunut tai rapautunut. Tuoretta tai väriltään muuttunutta kalliota on vielä epäjatkuvana runkorakenteena tai lohkojen ydinosina	3
Täysin rapautunut	Kaikki kalliomateriaali on murentunut ja/tai rapautunut maa-ainekseksi. Alkuperäinen massan rakenne on vielä suureksi osaksi vahingoittumaton	4
Rapautumalla syntynyt maa-aines	Kaikki kalliomateriaali on muuttunut maa-ainekseksi. Massan rakenne ja materiaalin kutous ovat tuhoutuneet. Tilavuus on muuttunut suuresti, mutta maa-aines ei ole kulkeutunut merkittävästi	5


LIITE 2. Taulukko L2-1. Apuväline rakennusteknisiin tarkoituksiin käytettävien kivilajien tunnistamiseksi (SFS-EN ISO 14689–1).

SYNTYVÄN MUKAINEN RYHMÄ	MAGMAKIVILAJIT				SEDIMENTTIVILAJIT				METAMORFISET		SYNTYVÄN MUKAINEN RYHMÄ		
	PYRO- KLASTISET		MAGMAKIVILAJIT		KLASTISET SEDIMENTIT		KEMALLISET/ ORGAANISET	LIUSKEINEN		MASSAMAINEN			
	MASSAMAISET				KERRÖSTUNEET								
	Vähintään 50 % rakeista ovat magma- peräisiä	Happamat	Intermedi- ääriset	Maasälvät, tummat mineraalit	Tummat mineraalit	Kivilajirakeet, kvarts, maasälvät ja savimineraalit		Vähintään 50 % rakeista karbonaattija karbonaattija	Suolaiset kivilajit			Kvarts, maasälvät, kilteet, tummat mineraalit	Kvarts, maasälvät, kilteet, tummat mineraalit, karbonaatt
Rakenne											Tavallinen rakenne		
Koostumus											Koostumus		
63	Hyvin karkea- rakeinen	Pyörityneet rakeet: AGGLO- MERAATTI	PEGMATIITTI			HIEKKAKIVI (hiekkakivet)	Rakeet ovat kivilajien kappaleita	Pyörityneet rakeet: KONGLOMERAATTI	KALSI- RUDIITTI	Suolaiset kivilajit	MIGMATIITTI GNEISSI HORNFELS MARMORI GRANULIITTI KVARTSIITTI	Hyvin karkea- rakeiset	63
	Karkea- rakeinen	Kulmikkaat rakeet: VULKAANI- NINEN BREKSIA	GRANIITTI	GABRO	PERIDO- TIITTI								
2	Keski- rakeinen	TUFFI			DIABAASI	ARENITTI	Hakeet ovat paaosin mineraalimurskaleita		KALKA- RENIITTI			Karkea- rakeiset	2
0,063	Hieno- rakeinen	Hieno- rakeinen TUFFI				LOUITTI (Savi- ja silttisedimentit)	MUTAKIVI LIUSKE: liuskemutakivi	SILTITIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia	KALSI- SILIITTI	KALKKIKIVI DOLOMIITTI		Hieno- rakeiset	0,063
0,002	Hyvin hieno- rakeinen	Hyvin hieno- rakeinen TUFFI				LOUITTI (Savi- ja silttisedimentit)	SAVIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia	SAVIKIVI: 50% rakeista hienorakeisia	LIITU			Hyvin hieno- rakeiset	0,002
			VULKAANISSET LASIT						KALSI- LUTIITTI	Pidioksi- pitoiset kivilajit	MYLONIITTI		
										SERTTI, PIKKI- Hilopitoiset kivilajit		Lasiset, Amorfiset	
										LIGNIITTI KIVIHILI			

* Pyroklastiset kivilajit luokitellaan usein sedimenttikiviin.

* Pyroklastiset kivilajit luokitetaan usein sedimenttikiviin.

LIITE 3. RG- ja Q-luokituksen mukaiset kartoitustulokset kartoitusalueilta A, B, C, D ja E.

Projekti _____ Plv. alku _____ Tilatunnus _____ Plv. loppu _____ Katsontasuunta _____ Päivämäärä _____ Geologi Jenni Nevalainen _____ Suunnittelija _____ Työnjohtaja vuorossa _____ Louhintaprofiili _____ Kalliolaatu, ennakoarvio 1...4 _____ Lujitussuositus, ennakoarvio _____ p _____ Kalliomekaaninen erikoisalue _____ Panostus _____ Poraus _____ Pultitus _____ Ruiskubetonointi seuraavaksi _____	 SAANIO & RIEKKOLA OY <small>INSINÖÖRITOIMISTO</small>	Koordinaatisto ETRS-GK24 _____ Korkeusjärjestelmä N2000 _____ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-top: 10px;"> LUJITUSSUOSITUS </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-left: 10px; margin-top: 10px;"> p </div>
--	--	--

Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n matkalla Heikko _____

Päärakosuunnat									Mineraalit (M1-M3)		
Ri	kaade°	k suunta°	Rtiheys	Rlaatu	Rpituus	Jr	Ja	Rprofiili	M1	M2	M3
L	50	160	3..10/m	täytteinen	5...10 m	2	3	USM	KL	RU	SA
	30	280	1..3/m	täytteinen	5...10 m	2	3	USM	KL	RU	SA
	80	110	1..3/m	täytteinen	5...10 m	2	4	USM	KL	KA	SA

Kivilaji KGN _____ Kalliolaatu Li2 _____ Rapautuneisuus Rp0 _____ L_aste L2 _____ L_kaade° 50 _____ L_k_suunta° 160 _____	Raekoko 1...5 mm _____ Rakoilutyyppi Kiila _____ Vuotovesi Kuiva _____ Savi 0,2 cm 80/110 _____ Näyte ei _____
--	--

Q-parametrit (geologia)

RQD <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">75</div>	Jr <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">2</div>	Jw <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">1</div>	Q luku 3,13
Jn <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">12</div>	Ja <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">4</div>	SRF <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">1</div>	Q laatu Heikko

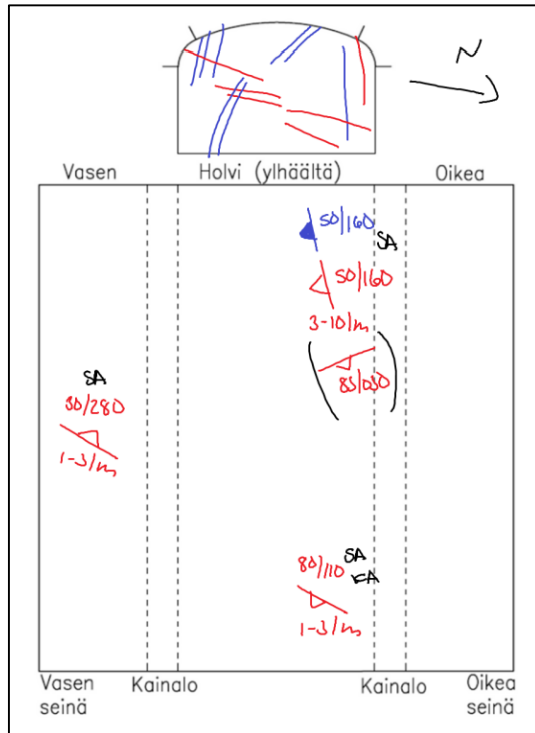
Q muunnettu (katkon kalliolaadusta poikkeava ruhje tai suunnittelun näkökulman mukaan)

RQD <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;"> </div>	Jr <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;"> </div>	Jw <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;"> </div>	Q luku #####
Jn <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;"> </div>	Ja <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;"> </div>	SRF <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;"> </div>	Q laatu _____

Muita huomioita

Liuskeisuuden suuntaisen rakoilun kaade vaihtelee 50-80°. Oikea reuna on maassamaisempi, lähes M1, jota asemman reunan liuskeisuus myötäilee. Rako 80/110 paikoin uro ja täyteenä ka. Satunnaista rakoilua suuntaa 85/030.

Kuva L3-1. Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista kartoitusalueelta A tehty RG- ja Q-luku kartoitus.



Holvi(katsontasuunta:pienenevä PL):




Vasen seinä(katsontasuunta:pienenevä PL):



Oikea seinä(katsontasuunta:pienenevä PL):



Kuva L3-2. Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta A, piirretty vaippakuva (vasemmalla) ja tunnelikatkoa otetut kuvat (oikealla). Satunnaiset rakosuunnat on merkitty vaippakuvaan sulkeissa.

Projekti _____ Plv. alku _____ Tilatunnus _____ Plv. loppu _____ Katsontasuunta _____ Päivämäärä _____ Geologi Jenni Nevalainen _____ Suunnittelija _____ Työnjohtaja vuorossa _____ Louhintaprofiili _____ Kalliolaatu, ennakoarvio >10 _____ Lujitussuositus, ennakoarvio _____ g _____ Kalliomekaaninen erikoisalue _____ Panostus _____ Poraus seuraavaksi _____ Pultitus _____ Ruiskubetonointi _____	 Koordinaatisto ETRS-GK24 _____ Korkeusjärjestelmä N2000 _____ <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 70%;">LUJITUSSUOSITUS</td> <td>g</td> </tr> </table>	LUJITUSSUOSITUS	g
LUJITUSSUOSITUS	g		

Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n matkalla Hyvä _____

Päärakosuunnat								Mineraalit (M1-M3)			
Ri	kaade°	k suunta°	Rtiheys	Rlaatu	Rpituus	Jr	Ja	Rprofiili	M1	M2	M3
L	90	330	1..3/m	täytteenen	1...5 m	2	1	USM	BT	SK	KL
	45	110	<1/m	täytteenen	5...10 m	2	3	USM	KL	SA	CC

Kivilaji KVMSGN _____ Kalliolaatu Li2 _____ Rapautuneisuus Rp0 _____ L_aste L2 _____ L_kaade° 90 _____ L_k_suunta° 330 _____	Raekoko 1...5 mm _____ Rakoilutyyppi Seka _____ Vuotovesi Kuiva _____ Savi _____ cm _____ Näyte _____
---	---

Q-parametrit (geologia)

RQD	95	Jr	2	Jw	1	Q luku 10,56 _____
Jn	6	Ja	3	SRF	1	Q laatu Hyvä _____

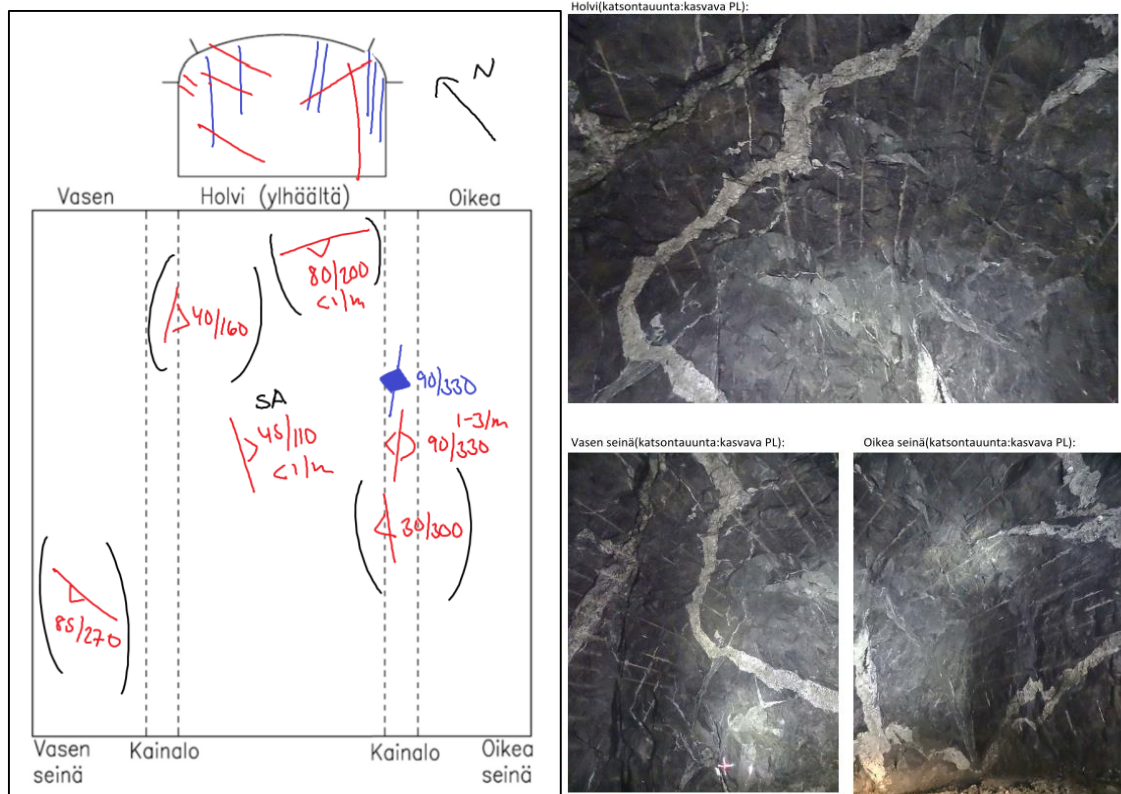
Q muunnettu (katkon kalliolaadusta poikkeava ruhje tai suunnittelun näkökulman mukaan)

RQD		Jr		Jw		Q luku ##### _____
Jn		Ja		SRF		Q laatu _____


Muita huomioita

Raossa 45/110 täytteenä sk. Liuskeisuuden suntaisen rakoilun kaateen suunta vaihtelee 330/150. Satunnaista rakoilua suuntiin 40/160 & 80/200 & 85/270. Kivilaji ahdollisesti myös gneissiytynt grdr.

Kuva L3-3. Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta B, tehty RG- ja Q-luku kartoitus.



Kuva L3-4. Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta B, piirretty vaippakuva (vasemmalla) ja tunnelikatkosta otetut kuvat (oikealla). Satunnaiset rakosuunnat on merkitty vaippakuvaan sulkeissa.

Projekti _____ Plv. alku _____ Tilatunnus _____ Plv. loppu _____ Katsontasuunta _____ Päivämäärä _____ Geologi Jenni Nevalainen _____ Suunnittelija _____ Työnjohtaja vuorossa _____ Louhintaprofiili _____ Kalliolaatu, ennakoarvio >10 _____ Lujitusuusositus, ennakoarvio g _____ Kalliomekaaninen erikoisalue _____ Panostus seuraavaksi _____ Poraus _____ Pultitus _____ Ruiskubetonointi _____	 Koordinaatisto ETRS-GK24 _____ Korkeusjärjestelmä N2000 _____ <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">LUJITUSSUOSITUS</td> <td style="padding: 5px; text-align: center; font-weight: bold;">f</td> </tr> </table> Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n matkalla Kohtalainen _____	LUJITUSSUOSITUS	f
LUJITUSSUOSITUS	f		

Päärakosuunnat									Mineraalit (M1-M3)		
Ri	kaade°	k suunta°	Rtiheys	Rlaatu	Rpituus	Jr	Ja	Rprofiili	M1	M2	M3
	35	170	1..3/m	täytteinen	5...10 m	3		2 URO	KL	KV	
L	80	350	1..3/m	täytteinen	5...10 m	2		3 USM	KL	SA	SK
	40	290	<1/m	täytteinen	> 10 m	3		1 URO	KV	KL	SK

Kivilaji KGN _____ Kalliolaatu Li2 _____ Rapautuneisuus Rp0 _____ L_aste L2 _____ L_kaade° 80 _____ L_k_suunta° 350 _____	Raekoko 1...5 mm _____ Rakoilutyyppi Kiila _____ Vuotovesi Kosteaa _____ Savi _____ cm _____ Näyte _____
--	--

Q-parametrit (geologia)

RQD <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px; text-align: center;">90</table>	Jr <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px; text-align: center;">2</table>	Jw <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px; text-align: center;">1</table>	Q luku 5,00 _____
Jn <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px; text-align: center;">12</table>	Ja <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px; text-align: center;">3</table>	SRF <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px; text-align: center;">1</table>	Q laatu Kohtalainen _____

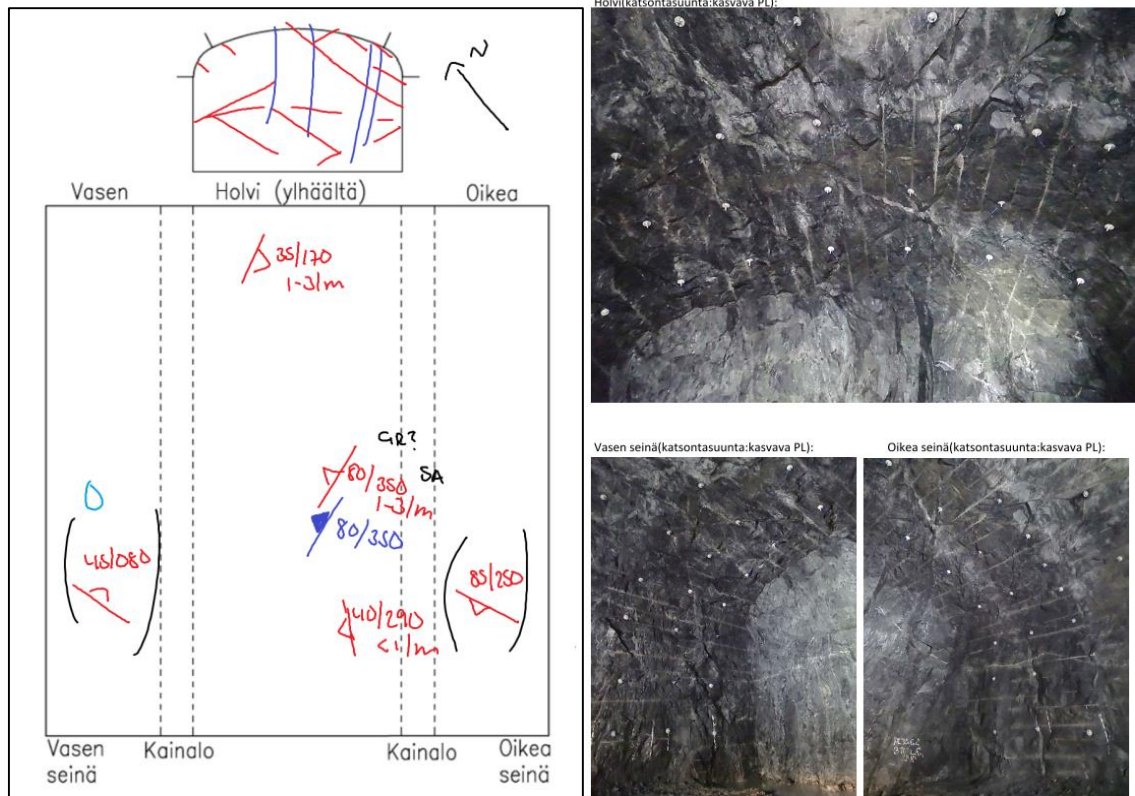
Q muunnettu (katkon kalliolaadusta poikkeava ruhje tai suunnittelun näkökulman mukaan)

RQD <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"></table>	Jr <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"></table>	Jw <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"></table>	Q luku ##### _____
Jn <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"></table>	Ja <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"></table>	SRF <table border="1" style="display: inline-table; width: 80px; height: 20px;"></table>	Q laatu _____


Muita huomioita

Kaksi katkoa kartoitettu kerrallaan. Mahdollisesti grafiittia liuskeisuuden suuntaisen rakoilun täytteenä. Satunnaista rakoilua suuntiin 85/250 & 45/080.

Kuva L3-5. Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta C, tehty RG- ja Q-luku kartoitus.



Kuva L3-6. Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta C, piirretty vaippakuva (vasemmalla) ja tunnelikatkosta otetut kuvat (oikealla). Satunnaiset rakosuunnat on merkitty vaippakuvaan sulkeissa.

Projekti _____ Tilatunnus _____ Katsontasuunta _____ Päivämäärä _____ Geologi Jenni Nevalainen _____ Suunnittelija _____ Työnjohtaja vuorossa _____ Louhintaprofiili _____ Kalliolaatu, ennakoarvio 4...10 _____ Lujitusuositus, ennakoarvio f _____ Kalliomekaaninen erikoisalue _____ Panostus alkanut _____ Poraus _____ Pultitus _____ Ruiskubetonointi _____	 Koordinaatisto ETRS-GK24 _____ Korkeusjärjestelmä N2000 _____ <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;">LUJITUSSUOSITUS</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">f</td> </tr> </table>	LUJITUSSUOSITUS	f
LUJITUSSUOSITUS	f		

Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n matkalla Kohtalainen _____

Päärakosuunnat										Mineraalit (M1-M3)		
Ri	kaade°	k suunta°	Rtiheys	Rlaatu	Rpituus	Jr	Ja	Rprofiili	M1	M2	M3	
L	80	160	3...10/m	täytteinen	5...10 m	2	1	USM	BT	KV	KL	
	85	40	1...3/m	täytteinen	5...10 m	2	3	USM	KL	KA	SK	
	20	270	<1/m	täytteinen	> 10 m	3	3	URO	KL	KV	KA	

Kivilaji KGN _____ Kalliolaatu Li2 _____ Rapautuneisuus Rp0 _____ L_aste L2 _____ L_kaade° 80 _____ L_k_suunta° 160 _____	Raekoko 1...5 mm _____ Rakoilutyyppi Kuutio _____ Vuotovesi Kuiva _____ Savi _____ cm _____ Näyte _____
--	---

Q-parametrit (geologia)

RQD <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">80</table>	Jr <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">2</table>	Jw <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">1</table>	Q luku 4,44 _____
Jn <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">12</table>	Ja <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">3</table>	SRF <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">1</table>	Q laatu Kohtalainen _____

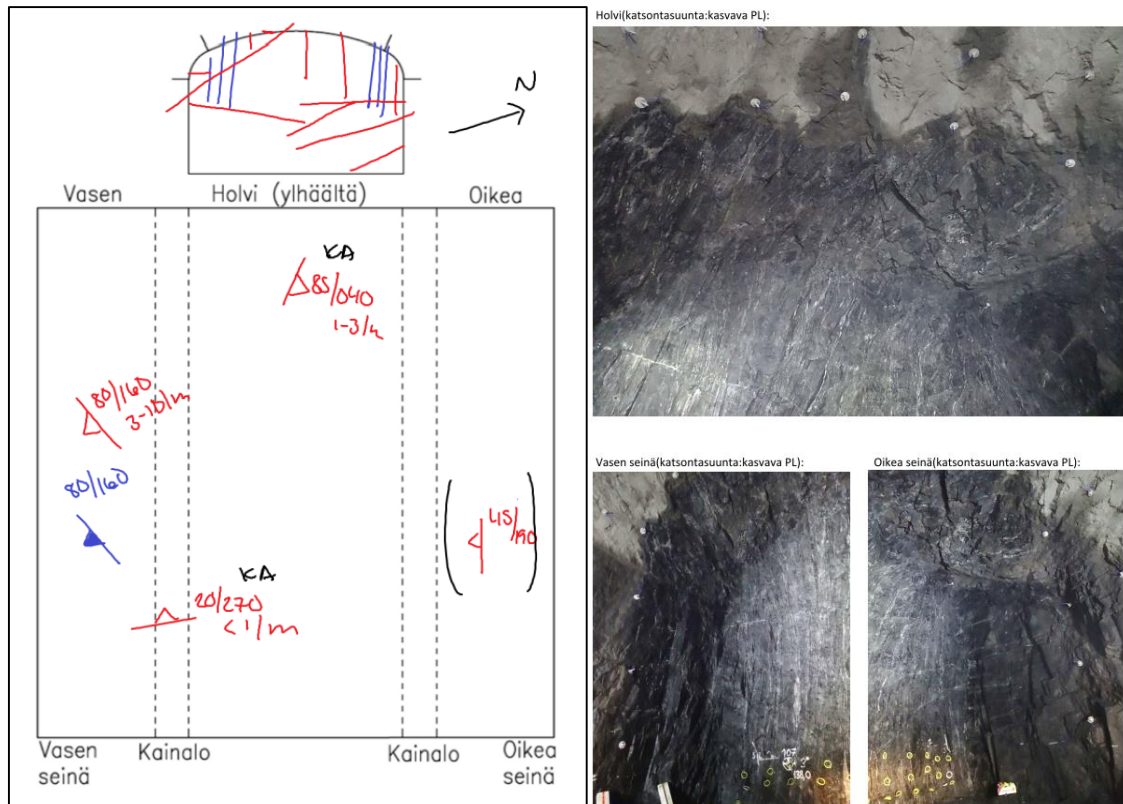
Q muunnettu (katkon kalliolaadusta poikkeava ruhje tai suunnittelun näkökulman mukaan)

RQD <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Jr <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Jw <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Q luku ##### _____
Jn <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Ja <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	SRF <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Q laatu _____


Muita huomioita

Liuskeisuuden suuntaisen rakoilun täytteenä sk. Satunnaista rakoilua suuntaan 45/190.

Kuva L3-7. Näsinkallion kuilusta, kartoitusalueelta D, tehty RG- ja Q-luku kartoitus.



Kuva L3-8. Näsinkallion kuilusta, kartoitusalueelta D, piirretty vaippakuva (vasemmalla) ja tunnelikatkosta otetut kuvat (oikealla). Satunnaiset rakosuunnat on merkitty vaippakuvaan sulkeissa.

Projekti _____ Plv. alku _____ Tilatunnus _____ Plv. loppu _____ Katsontasuunta _____ Päivämäärä _____ Geologi Jenni Nevalainen _____ Suunnittelija _____ Työnjohtaja vuorossa _____ Louhintaprofiili _____ Kalliolaatu, ennakoarvio >10 _____ Lujitusuositus, ennakoarvio _____ g _____ Kalliomekaaninen erikoisalue _____ Panostus _____ Poraus _____ Pultitus seuraavaksi _____ Ruiskubetonointi _____	 Koordinaatisto ETRS-GK24 Korkeusjärjestelmä N2000 <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">LUJITUSUOSITUS</td> <td style="padding: 5px; text-align: center;">g</td> </tr> </table> Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n matkalla Kohtalainen _____	LUJITUSUOSITUS	g
LUJITUSUOSITUS	g		

Päärakosuunnat									Mineraalit (M1-M3)		
Ri	kaade°	k suunta°	Rtiheys	Rlaatu	Rpituus	Jr	Ja	Rprofiili	M1	M2	M3
L	85	340	3..10/m	täytteinen	1...5 m	2	2	USM	KL	SK	
	85	90	1..3/m	täytteinen	5...10 m	3	3	URO	KL	SK	SA

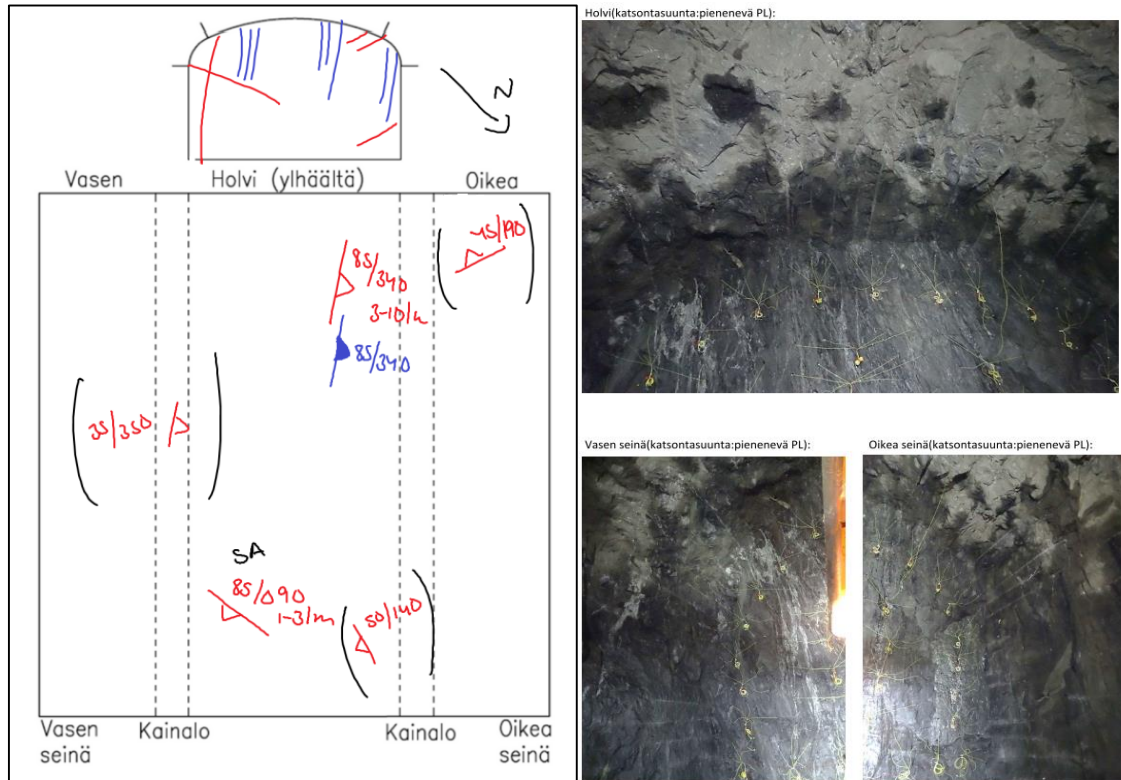
Kivilaji KGN _____ Kalliolaatu Li2 _____ Rapautuneisuus Rp0 _____ L_aste L2 _____ L_kaade° 85 _____ L_k_suunta° 340 _____	Raekoko 1...5 mm _____ Rakoilutyyppi Seka _____ Vuotovesi Kuiva _____ Savi _____ cm _____ Näyte _____
--	---

Q-parametrit (geologia)			
RQD <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">80</table>	Jr <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">3</table>	Jw <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">1</table>	Q luku 13,33
Jn <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">6</table>	Ja <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">3</table>	SRF <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; text-align: center;">1</table>	Q laatu Hyvä

Q muunnettu (katkon kalliolaadusta poikkeava ruhje tai suunnittelun näkökulman mukaan)			
RQD <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Jr <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Jw <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Q luku #####
Jn <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Ja <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	SRF <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px;"></table>	Q laatu

Muita huomioita
 Rakoilun 85/060 kaateen suunta vaihtelee 270/090. Raossa 85/090 täytteenä ruostetta. Satunnaista rakoilua suuntiin 35/350 & 50/140 & 45/190.

Kuva L3-9. Naistenlahden pohjoisesta ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta E, tehty RG- ja Q-luku kartoitus.



Kuva L3-10. Naistenlahden pohjoisesta ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta E, piirretty vaippakuva (vasemmalla) ja tunnelikatosta otetut kuvat (oikealla). Satunnaiset rakosuunnat on merkitty vaippakuvaan sulkeissa.

LIITE 4. ISO- ja Q-luokituksen mukaiset kartoitustulokset kartoitusalueilta A, B, C, D ja E.

S A A N I O & R I E K K O L A O Y	
INSINÖÖRITOIMISTO	
Projekti	Plv. Alku
(nimi, numero)	Plv. Loppu
Tilatunnus	Katsontasuunta
Päivämäärä	30.3.2015
Geologi	Tea Niiranen
Suunnittelija	
Työnjohtaja	
(vuorossa)	
Louhintaprofiili	A1
Kalliolaatu, Q-luku	
(ennakkoarvio)	1-4
Lujitusuus	
(ennakkoarvio)	p
Kalliomekaaninen erikoisalue	
Koordinaatisto	ETRS-GK24
Korkeusjärjestelmä	N2000
SEURAAVA TYÖVAIHE:	
Panostus	
Poraus	
Pultitus	
Ruiskubetonointi	x
LUJITUSUOSITUS: p	
Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n/katkon matkalla: Heikko	
(1.) Kivilaji = KGN	(2.) Kivilaji =
Kalliomateriaalin* kuvaus	
Väri:	tumman harmaa
Raekoko (mm):	2-63
Perusmassa (raekoko, mm.):	0,063-2
Perusmassa (mineraalikoostum.):	biot, kv, musk, maasäli
Rapautuneisuus:	Tuore
Karbonaattipitoisuus:	Ei karbonaattia
Kalliomateriaalin	säilyvyys: Stabiili
Kalliomateriaalin	vedenkestävyys: Stabiili
Kalliomateriaalin	Puristuslujuus: Hyvin luja
Kalliomassan* kuvaus	
Makrorakenne:	gneissimäinen, liuskeir
Rakolityyppi:	Kiilarakoiu
Rapautuneisuus:	Rapautumaton
Kalliopaljastuman koko (m²):	70-90
Kalliomassan	vuotovesi: Pieni
Kalliomassan	Kerospaksuus: veden-
Kalliomassan	Kalliiohkojen läpäisevyys: Lugeon testi
Kalliomassan	koko: Suuri
Epäjatkuvuudet* (päärakosuunnat)	
Tyyppikuvaus	kaade*/ksuunta*
Epäjatkuvuuksien välimatka (mm)	Epäjatkuvuuksien ulottuvuus (m)
Rakopinnan karheus (mm)	Rakopinnan karheus (cm)
Avauman leveys	Täytemateriaali
1	2
3	
Li	50/160
Pieni	> 10
30/280	Pieni
5...10	
80/110	Suuri
5...10	
Sileä	Tasomainen
Aaltomainen	
KL	RU
SA	KL
SA	RU
KL	SA
RU	
Q-parametri (koko kalliomassalle)	
RQD=	75
Jr=	2
Jn=	12
Ja=	4
Jw=	1
SRF=	1
Q-luku:	3,125
Q-laatu:	Heikko
Q-parametri (rikkonaisuusvyöhykkeelle)	
RQD=	
Jr=	
Jn=	
Ja=	
Jw=	
SRF=	
Q-luku:	#JAKO/OI
Q-laatu:	
Muuta huomioita:	

Kuva L4-1. ISO- ja Q-luku kartoitustulokset Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta A.

Kuva L4-2. ISO- ja Q-luku kartoitustulokset Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta B.

SAANIO & RIEKKOLA OY
TUNNELI- JA KIVITTÄMISTYÖT

Projekti _____ Plv. Alku _____
(nimi, numero) _____ Plv. Loppu _____
Tilatunnus _____ Katsontasuunta _____

Päivämäärä 1.4.2015 Koordinaatisto ETRS-GK24
Geologi Tea Niiranen Korkeusjärjestelmä N2000
Suunnittelija _____
Työnjohtaja _____ SEURAAVA TYÖVAIHE:
(vuorossa) _____ Panostus _____ x
Louhintaprofiili B1 Poraus _____
Kalliolaatu, Q-luku _____ Pultitus _____
(ennakkoarvio) >10 Ruiskubetonointi _____
Lujitusuusitus _____
(ennakkoarvio) g
Kalliomekaaninen LUJITUSSUOSITUS: f
erikoisalue _____

Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n/katkon matkalla: Kohtalainen

(1.) Kivilaji = KGN (2.) Kivilaji = _____

Kalliomateriaalin* kuvaus

Väri:	tumman harmaa	Kalliomateriaalin
Raekoko (mm):	2-63	säilyvyys: Stabiili
Perusmassa (raekoko, mm.):	0,063-2	Kalliomateriaalin
Perusmassa (mineraalikoostum.):	bt, kv, sk, plg	vedenkestävyys: Stabiili
Rapautuneisuus:	Tuore	Puristuslujuus: Hyvin luja
Karbonaattipitoisuus:	Ei karbonaattia	

Kalliomassan* kuvaus

Makrorakenne:	gneissimäinen, liusk	Vesivuoto: Pieni	Kalliomassan
Rakointityyppi:	Kiilarakoilu	Kerrospaksuus:	veden-
Rapautuneisuus:	Rapautumaton	Kallioliölköjen	läpäisevyys: Lugeon testi
Kalliopaljastuman koko (m²):	>90	koko:	Hyvin suuri

Epäjatkuvuudet* (päärakosuunnat)

Tyypikuvaus	kaade*/ksuunta*	Epäjatkuvuuksien välimatka (mm)	Epäjatkuvuuksien ulottuvuus (m)	Rakopinnan karheus			Avauman leveys	Täyttemateriaali		
				(mm)	(cm)	(m)		1	2	3
Li	85/350	Pieni	> 10	Sileä	Aaltoileva	Aaltomainen		SK	KL	SA
	35/170	Keskikokoinen	5...10			Aaltomainen		KL	KV	
	40/290	Keskikokoinen	> 10			Aaltomainen		KL	KV	SK

Q-parametri (koko kalliomassalle)

RQD= 90 Jr= 2 Jw= 1 Q-luku: 5
Jn= 12 Ja= 3 SRF= 1 Q-laatu: Kohtalainen

Q-parametri (rikkonaisuusvyöhykkeelle)

RQD= Jr= Jw= Q-luku: #JAKO/01
Jn= Ja= SRF= Q-laatu:

Muita huomioita:

Satunnaisia rakosuuntia:
85/250
40/080

Kuva L4-3. ISO- ja Q-luku kartoitustulokset Näsinkallion eteläisestä ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta C.



Projekti	Plv. Alku	
(nimi, numero)	Plv. Loppu	
Tilatunnus	Katsontasuunta	
Päivämäärä	30.3.2015	Koordinaatisto ETR5-GK24
Geologi	Tea Niiranen	Korkeusjärjestelmä N2000
Suunnittelija		
Työnjohtaja	SEURAAVA TYÖVAIHE:	
(vuorossa)	Panostus	x
Louhintaprofiili	LR1	Poraus
Kalliolaatu, Q-luku		Pultitus
(ennakkoarvio)	4-10	Ruiskubetonointi
Lujitusuusositus		
(ennakkoarvio)	f	
Kalliomekaaninen	LUJITUSUOSITUS: f	
erikoisalue		

Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n/katkon matkalla: Kohtalainen

(1.) Kivilaji = KGN	(2.) Kivilaji =
---------------------	-----------------

Kalliomateriaalin* kuvaus		
Väri:	tumman harmaa	Kalliomateriaalin
Raekoko (mm):	2-63	säilyvyys: Stabiili
Perusmassa (raekoko, mm.):	0,063-2	Kalliomateriaalin
Perusmassa (mineraalikoostum.):	BT, KV, Musk, maasi	vedenkestävyys: Stabiili
Rapautuneisuus:	Tuore	Puristuslujuus: Hyvin luja
Karbonaattipitoisuus:	Ei karbonaattia	

Kalliomassan* kuvaus		
Makrorakenne:	gneissimäinen, liuskavuotovesi	Pieni Kalliomassan
Rakokilutyyppe:	Kuutiorakkoilu	Kerrospaksuus: veden-
Rapautuneisuus:	Rapautumaton	Kallioliöhojen läpäisevyys Lugeon testi
Kalliopaljastuman koko (m³):	70-90	koko: Suuri

Epäjatkuvuudet* (päärakosuunnat)								
Tyypikuvaus	kaade*/ksuunta*	Epäjatkuvuuksien välimatka (mm)	Epäjatkuvuuksien ulottuvuus (m)	Rakopinnan karheus			Avauman leveys	Täyttemateriaali
				(mm)	(cm)	(m)		1 2 3
Li	80/160	Pieni	> 10	Sileä	Aaltoileva	Aaltomainen		BT KL
	85/040	Keskikokoinen	1...5	Sileä	Aaltoileva	Aaltomainen		KA SK CC
	20/270	Keskikokoinen	> 10			Mutkitteleva		KA KV

Q-parametri (koko kalliomassalle)

RQD= 80 Jr= 2 Jw= 1 Q-luku: 6,666667
Jn= 12 Ja= 2 SRF= 1 Q-laatu: Kohtalainen

Q-parametri (rikkonaisuusvyöhykkeelle)

RQD= Jr= Jw= Q-luku: #JAKO/0!
Jn= Ja= SRF= Q-laatu:

Muita huomioita:

Satunnaista rakoilua suuntaan 45/190

Kuva L4-4. ISO- ja Q-luku kartoitustulokset Näsinkallion kuilusta, kartoitusalueelta D.



Projekti	Plv. Alku	
(nimi, numero)	Plv. Loppu	
Tilatunnus	Katsontasuunta	
Päivämäärä	1.4.2015	Koordinaatisto
Geologi	Tea Niiranen	ETRS-GK24
Suunnittelija		Korkeusjärjestelmä
Työnjohtaja		N2000
(vuorossa)		SEURAAVA TYÖVAIHE:
Louhintaprofiili	B1	Panostus
Kalliolaatu, Q-luku		Poraus
(ennakkoarvio)	>10	Pultitus
Lujitusuusositus		Ruiskubetonointi
(ennakkoarvio)	g	
Kalliomekaaninen		LUJITUSSUOSITUS: g
erikoisalue		

Arvio vallitsevasta kalliolaatuluokasta seuraavan 5 tunneli-m:n/katkon matkalla: Hyvä

(1.) Kivilaji = KGN	(2.) Kivilaji =
---------------------	-----------------

Kalliomateriaalin* kuvaus			
Väri:	harmaa	Kalliomateriaalin	
Raekoko (mm):	0,063-2	säilyvyys:	Stabiili
Perusmassa (raekoko, mm.):	0,063-2	Kalliomateriaalin	
Perusmassa (mineraalikoostum.):	kv, bt, sk, musk, ma	vedenkestävyys:	Stabiili
Rapautuneisuus:	Tuore	Puristuslujuus:	Hyvin luja
Karbonaattipitoisuus:	Ei karbonaattia		

Kalliomassan* kuvaus			
Makrorakenne:	gneissimäinen, liusk	Vesivuoto:	Pieni
Rakolityyppi:	Kiilarakoiilu	Kerrosrakennus:	veden-
Rapautuneisuus:	Rapautumaton	Kallioliököjen	läpäisevyys: Lugeon testi
Kalliopaljastuman koko (m ²):	>90	koko:	Suuri

Epäjatkuvuudet* (päärakosuunnat)								
Tyyppikuvaus	kaade*/ksuunta*	Epäjatkuvuuksien välimatka (mm)	Epäjatkuvuuksien ulottuvuus (m)	Rakopinnan karheus			Avauman leveys	Täyttemateriaali
				(mm)	(cm)	(m)		1 2 3
Li	85/340	Keskikokoinen	> 10	Sileä	Aaltoileva	Aaltomainen		KV SK
	80/090	Suuri	5...10	Sileä	Aaltoileva	Aaltomainen		SK SA KL

Q-parametri (koko kalliomassalle)

RQD=	80	Jr=	2	Jw=	1	Q-luku: 13,3333
Jn=	6	Ja=	2	SRF=	1	Q-laatu: Hyvä

Q-parametri (rikkonaisuusvyöhykkeelle)

RQD=		Jr=		Jw=		Q-luku: #JAKO/0!
Jn=		Ja=		SRF=		Q-laatu: _____

Muita huomioita:

Satunnaista rakoilua esiintyi suunnissa:

50/140

45/190

35/350

Kuva L4-5. ISO- ja Q-luku kartoitustulokset Naistenlahden pohjoisesta ajoneuvotunnelista, kartoitusalueelta E.